BIG HISTORY

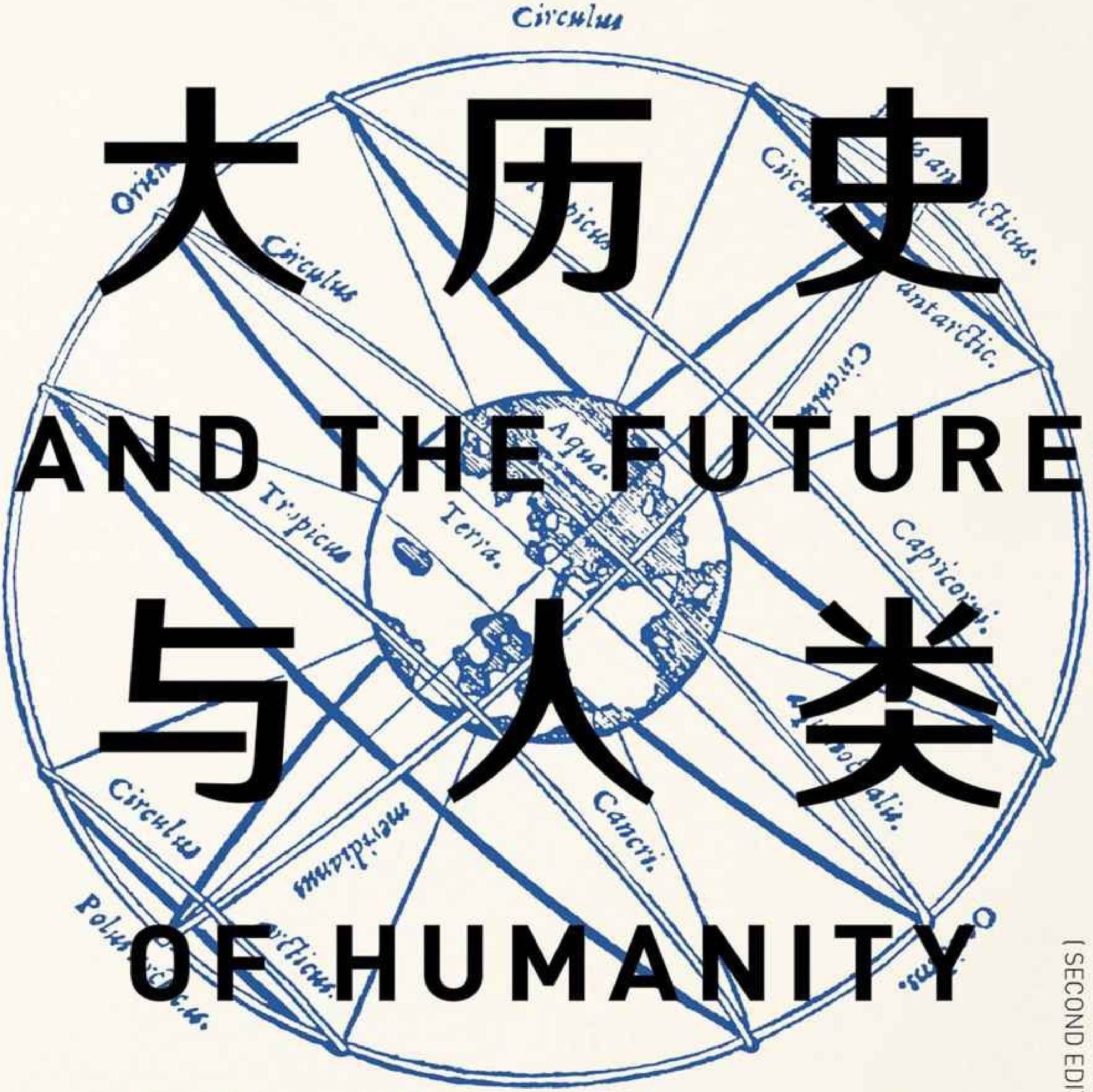
大历史

AND THE FUTURE

与人类

OF HUMANITY

的未来



（SECOND EDITION）（修订版）

FRED SPIER

[荷]弗雷德·斯皮尔——著

孙岳——译

中信出版集团

大历史与人类的未来

（修订版）

[荷]弗雷德·斯皮尔 著

孙岳 译

中信出版集团

目录

献给威廉·H. 麦克尼尔：
世界上我最敬仰的史学家

我们人类仍处于庞大的进化过程之中，它（可能）始于“大爆炸”，指向一个尚不为人所知的未来。其间，物质和能量相继而生，众多星体汇聚又离散，太阳系得以成形却会最终崩溃（有生命的存在显然在此之前业已毁灭），人类社会在地球上涌现并开启了进化过程，其终极归宿尚不明朗。

——威廉·H. 麦克尼尔：《全球境况》（*The Global Condition*, 1992），第xiv-xv页

中文版序言

听闻拙作的中文版译文即将完成，我感到非常荣幸。可惜我自己读不懂这种历史悠久的语言，因此不便对译文的质量做出评判。但我希望，也相信这是一部很好的译作，因为译者是我的好友，来自首都师范大学的孙岳教授。对于他付出的辛勤劳动，我深表敬意。

正如在本书序言中提到的，我之所以撰写这部著作，最初是因为1969年1月看到了一组人类第一次从月球拍摄的地球照片，当时我还很年轻。直到后来我才认识到，这组照片在我——当然还有其他许多人——的心目中唤起了有关整个人类问题的思考：人类实际上生活在一个周围异常空灵且相当有限的星球之上，广袤的宇宙并不友善，在这种情况下，人类究竟如何才能赢得相对的和平和富足呢？

为了找到解决这一问题的最佳方案，就必须要弄清人类究竟是如何陷入当今社会的以及生态的多种困局的。在过去的四十年里，我始终在探寻问题的答案。本书的综合能够最终成形，得益于众多学者的真知灼见。

本书实为全部历史的一种初步概览。其视角乃基于欧洲的学术传统，以及与其他多种学术传统的互动。因此，我非常想了解中国读者从自身的文化背景出发对此会做出如何反应，并期待后者提出改进意见。

当然，所有的学术著述——包括我自己的在内——在本质上都是一种初步的探索，面对世界，面对历史，既有的成果均不过是无止境的学术讨论的一部分。因此，我诚挚邀请每一位中国读者都能加入我们的讨论中，并由衷地希望不同文化的心灵相遇会产出丰硕的成果，让我们对整个历史有更清晰准确的认知，并最终开启人类在地球更美满的生活之旅。

人类未来将面临哪些挑战呢？地球表面相对狭小而且资源有限，周围是广袤但不适于居住的宇宙，而地球上的人口数量却急剧大幅增加，人类未来能够在地球上生活的时间也相当短暂，虽然能够确切生活多久我们还尚不知晓。我认为，如果人类想要为自己以及后代子孙赢得最圆满的未来，那么整个人类就必须通力合作，唯如此才有望实现。

在我们生活的这个世界里，相比合作，人们往往更强调竞争的重要性。当然，我们每个人都要捍卫并追求自身的利益。但我们也应看到，人类这一物种能够进化到今日，也离不开各式各样的合作，合作对人类而言举足轻重。而这一点在自然界较为复杂的物种中均不多见，蚂蚁等可谓突出的例外，因为后者同样表现出卓越的协作能力。若不是因为人类有多种形式的合作关系，恐怕根本不可能取得今天的进步。

人们在学术研究中很少强调人类之间因成功合作而造就的无与伦比的喜悦。其实由此带来的喜悦之情随处可见，如天赋异禀的音乐家们共同演出，人类首次成功登月并安全返回地球。显然，这份喜悦是不相合作的个体永远无法体会的，因为喜悦本身需要分享。

因此，赢得人类共同未来的中心主题是：努力分享成功合作的喜悦，只有这样才能确保人类及其后代持久的幸福美满。倘若本书能为此目标而向前迈进哪怕只是一小步，那笔者已决然欣慰了。

总之，我衷心希望本书能就人类共同的历史及实现共通的未来引发富有成效的讨论。我们生活于其上的这个星球虽然异常美丽，但也非常脆弱。我们的目标是在人间实现和平、和谐和共同永续的富足。

弗雷德·斯皮尔

2017年11月于阿姆斯特丹

前言与致谢

> 能够亲眼看到地球是那么渺小，令我顿开茅塞，这就是最大的哲学，甚至完全打破了我以往所有认知的根基。……光看图片绝不足以有如此领悟，因为图片总受框架的局限。一旦你……把眼球贴近宇宙飞船的窗户，就会看到差不多半个宇宙。……那浩渺无垠的宇宙，一片凄清，根本无法从图片中得见。……那种感觉，倒不是地球有多渺小，而是地球之外的世界有多么广阔。
>
> ——阿波罗8号航天员威廉·安德斯（William Anders），
> 出自Chaikin & Kohl (2009)，p. 158

这本书讲述大历史，即将人类史置于宇宙史大框架下的历史，从宇宙开端一直到当今地球上的全部生命。我希望本书为大历史提供一种崭新的理论视角，不仅有助于读者更好地认清历史，而且有助于廓清人类在不远的将来即将面对的重大挑战。

我对大历史理论的探讨源自一种对整个人类的深切关怀：人类究竟对自身的生存环境——地球这颗行星——做了些什么？而我对人类生存环境的关注又直接源自20世纪60年代末70年代初的阿波罗号航天壮举。给我留下最深刻持久印象的是1968年12月的那次航天飞行，那一次，阿波罗8号宇宙飞船实现了首次登月，并在环绕地球飞行了10圈之后最终返回地球。当时我在荷兰，激动不已地观看着来自太空的黑白电视直播，同时把相机架在三脚架上，随时从电视上拍下激动人心的照片。当时还没有家庭录像机或其他什么设备能够把电视节目直接录下来。我当时的感觉是，这是一件意义非凡的重大事件，但同时也不太确信相关机构是否会把这些图片保存下来，或至少从哪里能够搞到这些图片。所以就把能拍摄到的都拍了下来，包括最初的发射、首次太空直播、第一次从月球看到的地球图景以及从月球轨道上看到的月球表面。在我家电视机的荧屏上，从太空看到的地球就是一个模糊不清的白斑，这是阿波罗飞船上的摄像机过度曝光所致。我特别想知道当时的航天员究竟看到了什么，尤其是从太空看上去我们的“地球老家”（the good Earth）究竟是什么样子，这个称呼是阿波罗8号飞船上的另一名航天员弗兰克·博尔曼

（Frank Borman）在圣诞夜那次有名的环月飞行广播中使用的。

但没等多久，我就收到了1969年1月10日期的《时代周刊》杂志，上面登载了精选的航天员们拍摄的照片。其“月球相册”的第一张就是有名的被称为“地球升起”（Earthrise地球如同升起的“太阳”，从月球背后“升起”，也因此得名“地出”。）的照片，还上了本期的封面，并题字“从阿波罗8号飞船上看到的令人敬畏的图景”。看着这张图片，我的内心升腾起一种前所未有的惊愕感，而这种感觉在此后的数年中从未再有过。这张小小的图片几乎旋即颠覆了我对地球的全部认知。我小心翼翼地把图片从杂志上剪下来，然后把它贴在屋子里的墙上，就这样以后数十年每天看着它。至今我还保留着这张图片，并把它视作珍宝。

当时，我所接受的全部教育都未能使我准备好，让我能够接受这一崭新的地球图景。在上学期间，我接受的是古典的荷兰教育或可谓西欧教育，其中包括拉丁文和古希腊文，现代语言包括英语、法语和德语，还有数学、物理、化学、地理和历史。但所有这些知识都是彼此孤立的，或者说根本不是从某个统一的视角加以陈述。正是这种教育令我在面对从黑暗太空看呈蓝白相间的壮观的地球和一片灰暗的月球景观时感到茫然不知所措。而这些图片第一次向我展示了从宇宙太空看地球有多么的不同。[1]这次经历也开始让世人反思：我们人类究竟对自己的太空家园做了些什么，并由此在世人中间激发起了史无前例的环保意识，包括1970年首次设立地球日。

这一时段最有影响的环保著作是一个自称为罗马俱乐部（因其成员常在古都罗马聚会）的独立知识分子群体1970年拟议设立的。该研究项目由麻省理工学院的丹尼斯·梅多斯（Dennis Meadows）牵头，由德国的大众汽车基金会赞助，最终的研究成果题为《增长的极限：罗马俱乐部有关人类困境的报告》（*The Limits to Growth: A Reporot for the Club of Rome Project on the Predicament of Mankind*）。该书有多个语种同时出版，其中包括荷兰语版。书中特别重视五个变量，即人口增长、食物生产、工业生产、有限的自然资源和不可避免的环境污染，所以其结论是上述五个因素的各种组合在不远的将来如何制约人类的福祉。这本书被大量报道且销售特别好，尤其是在荷兰。根据罗马俱乐部荷兰籍成员弗里茨·波特希尔（Frits Böttcher）的说法，出现上述情况乃情理之中，因为荷兰每公顷土地的收入在当时居世界第一，也正因如此，上述报告中提到的诸多问题早已为荷兰人在日常生活中切身体悟。[2]

当这一切正在发生的时候，我周围没有一个人——包括中学老师和后来的大学老师——提到过从太空看地球的图片引发的视角上的深刻变

革，而是倾向于固守既有的学科教育。鉴于这种情势，我把自己的大部分思考和情感深埋在了内心。不过我对这种彼此互不相干的学科划分（我现在常常这样描述）却开始感到非常不安。我不只越来越担心环境问题，而且还想弄清人类究竟是如何走到这步田地的。这种对人类史的好奇心在我读了《增长的极限》荷兰语版序言的一段文字之后更是有增无减，这段文字称，只有弄清楚人类世界的现状与此前历史的各个时段在生物学和文化意义上有何不同，以及后者是如何塑造了前者，才有可能找到有效改造现实世界之道。[3]那时候，学术意义上的环境史还不曾问世，我也没有找到什么有帮助的世界史叙事。因此，我独自开始了漫长的有关人类史的学术探索，直到有一天我熟悉了才可谓达到了探索的顶峰。

对我个人而言，大历史已成为一种解释自我和周围万事万物得以成形的美妙方式。在大历史中，当今世界的任何问题都能够得到解答，现实世界的方方面面是如何发展至今及其发展的缘由都能得到解释。大历史不同于任何其他学科之处在于，它将全部历史研究整合成一个新颖的条理分明、首尾一致的观点。因此，大历史为我提供了一种新的、最令人满意的联结工具。从每年大批学生踊跃选修大历史课程的情况看，他（她）们可能也感到大历史为自己的所学提供了类似的联结。选修我的大历史课的学生大多是阿波罗号航天结束之后出生的，对他（她）们而言，阿波罗号绕月飞行属于深度史（deep history）的一部分。而现实的情况是，从20世纪60年代末至今，大学里的课程，尤其是各人文学科，并未见大的变化。所以，很多学生可能也感觉到了学科之间的彼此互不相干。

受《地球升起》照片的启发，在过去的三十多年间，我一直致力于借助一种理论的视角探讨一种超然的历史概述（detached overview）。这种超然的概述在自然科学界极其普遍——如果缺少超然的概述，自然科学家们简直不知道如何从事科学研究；而时至今日，大多数史学家和社会科学家却依然只关注细节，对超然历史概述的缺失全然不顾。因此，我的历史研究属于那种生活在地球上的人类的历史，根本不同于既有的历史叙事。

我对大历史理论的探讨——详见本书第二章——乃基于我个人在相当多样化的学术履历中获取的知识。我最初学的是生物化学，专业是时人所称的植物“基因工程”，研究目标是提高世界粮食产量。[4]但我总有一种挥之不去的恐惧，就是这样的研究不足以解决上述《增长的极限》一书中提出的问题。所以在读完生物化学的课程之后，我决定不在这一领域继续发展，虽然有好几个学校都向我发出了读博的邀请。于是此

后，我便开始在不同专业间游离和求索，一心要找到人类究竟是如何陷入目前困境的答案。

有大约一年的时间，我在荷兰一家名为“盖娅城邦”（Gaiapolis）的生态企业上班。在那里，我了解到荷兰的生态运动，还学到有关生命科学的一般知识。我开始在欧洲各地、中东和非洲旅行，并因此对世界多个穷困地区的生活有了更多的认识。1979年，我在苏丹中部的一列火车上巧遇德国文化人类学家约阿希姆·泰斯（Joachim Theis），他对苏丹人的生活状况有着全面透彻的分析和论述，受此影响，我转向了文化人类学。我在荷兰莱顿的好友里昂尼·范·德·斯普林特（Leony van der Splinter）给了我一本人类学家马文·哈里斯（Marvin Harris）的人类学入门教科书《文化·人·自然》（*Culture, People,Nature*），该书视野宏阔，我非常喜爱。1988年，我还非常幸运地遇到了这位饶有风趣的学者。

在父母的大力支持下，我于20世纪80年代至90年代初在荷兰深入钻研文化人类学和社会史。其间，我对秘鲁的宗教和政治进行了长时间的全面研究。我把研究重点放在古印加帝国首都库斯科（Cusco）附近一个名为圣尼古拉·德·巴里·德·祖伊特（San Nicolás de Bari de Zurite）村的教区。该研究的核心在弄清一个基本自给的农民社区是如何处理人与自然的关系的、其历史发展的轮廓以及其发展在多大程度上受到了来自外部世界的影响。因为当时在荷兰还没有环境研究这样的学科，所以我决定把重点放在安第斯山脉地区的宗教上，希望弄清该宗教中所表达出的环保思想与实践（事实的确如此）。

在此期间，我在荷兰的文化人类学导师马特·巴克斯（Mart Bax）介绍我认识了德国社会学家诺伯特·埃利亚斯（Norbert Elias）发明的过程社会学历史研究理论，还在宗教与政治学领域的框架下阐发了他对这一理论的理解。后来，我又得到荷兰社会学家约翰·古德斯布洛姆（Johan Goudsblom）同样至关重要的支持，他后来成为我读博期间的第二导师。我在此期间学到的最重要的一课，是认识到秘鲁安第斯山脉地区这一小小村落的历史与人类史上的主要进程密不可分。后来，我将自己的研究成果归纳成两本书。[5]但直到现在，在我最终形成本书的理论框架之后，我才充分理解安第斯山脉地区的农民在利用周围的自然环境方面是何其理性。

不过，在我1992年完成博士学业之后，在整个荷兰，由于中东欧社会主义国家的相继倒台，人们对拉美的兴趣却突然间烟消云散。西欧各国政府不再支持冷战期间成为主要战场的相关国家的研究和发展，却突然转而支持中欧国家加入欧盟。因此，我对秘鲁的进一步研究再无可能

继续。幸好在此时，约翰·古德斯布洛姆于1992年访问澳大利亚的悉尼并结识了麦考瑞大学的大卫·克里斯蒂安（David Christian），后者率先在那里开设了大历史课程。在这门课上，讲授者来自从天文学到社会学等多个学科，共同讲述一种宏大的历史。这一做法对我也产生了极大的吸引力，因为它恰好满足了我一直以来刻意寻求历史概述的需求。1993年，我和约翰·古德斯布洛姆仿效克里斯蒂安的做法，筹备在阿姆斯特丹大学首次讲授大历史。我们的大历史课程是在1994年正式开设的，自此每年推出，从未间断。[6]

1992年11月，我非常有幸在阿姆斯特丹结识了著名世界史学家威廉·麦克尼尔（William H. McNeill）。从此，他给予了我至关重要的慷慨支持。称其至关重要，不仅是因为他使我的观点更加犀利，包括鼓励我写下本书（他曾好几次提出意见，以他自己独有的方式肯定并激励我），还因为他对大历史的学术支持，要不是这种支持，我可能都无法在开设大历史课程之后在波谲云诡的学术界幸存下来，因为在学术界的汪洋大海中根本没有大历史的安全避风港。所以我把本书献给威廉·麦克尼尔，也是对他为我所做的一切深表感激的一个小礼物。

1994年，还在我为自己的第一次大历史课程悉心构架之时，我就认识到：开设大历史课，也是对大历史本身的一种架构。正是这一激动人心的见解使我撰写了《大历史的结构》（*The Structure of Big History*,1996）一书，书中提出了全部历史的一般框架。1996年10月，我访问圣达菲研究所（Santa Fe Institute），在那里向人介绍我的新著，也首次接触到复杂性研究（complexity studies）的概念。复杂性课题在此后的数年里变得愈发富于影响，但我却不能以此实现对大历史进行合理的大综合。2000年，美国天体物理学家埃里克·蔡森（Eric Chaisson）来到我们的大历史课堂并做了精彩演讲。他向我介绍了自己有关能量与复杂性的富于开拓性的观点，还把一份手稿赠予我并嘱我评议。这一观点和手稿让我思考了好几年的时间。

我在大历史理论方面的突破创新发生在2003年2月，当时一年一度的大历史课程还在阿姆斯特丹大学平稳运行。有一天，我的美国籍妻子吉娜（Gina）一边准备丰盛美味的意大利晚餐，一边问我一个非常简单的问题：为什么大历史就一定是这样发生呢？我尝试着以最清晰简明的方式作答，却突然意识到此前从未有人提过这样的问题。我也一下子认识到问题的答案可能既简单又工整。本书就是对吉娜所提问题作答。这一理论最初于2005年以简要的方式发表在英语版俄罗斯杂志《社会进化与历史》（*Social Evolution & History*）上，题为《大历史原理：能流与复杂性的兴起和消亡》（“How big history works: energy flows and the

rise and demise of complexity”）；而本书是原文论证的展开和细化。

我深知人类的科学知识是不断进化的。即使在我过去从事大历史教学的15年间，我们仍可见重大变革的发生，比如宇宙学突然发现了暗物质的存在。所以大历史的叙事也一定会随之发生变化，本书叙述的很多“事实”说不定在未来哪一天就会显得过时。不过我还是希望本书所提出的历史理论能够更为持久；但哪怕我的愿望落空，我也希望本书能够启发后来者以更完善的理论取而代之。

从事大历史研究，显然不可能做到的事情是让每个研习者读遍迄今存留下来的所有资料。因此，除了尽量阅读更多的材料之外，我个人的做法是把自己的观点呈现给多个领域的专家看，这里面从天文学家到社会科学家为数众多，正是他们给我提供了非常宝贵的反馈意见。但即使我努力更新自己在各个领域的知识并使之尽量跟上时代，我仍然不敢保证说本书的观点就一定代表了科学研究的最新最确定的成果。我在撰写本书之前同样在思考问题的方式上受到了来自多人的影响，没有他们，这本书肯定会完全不同，甚至不可能问世。此外，还有很多学者对本研究给予了重要支持。我对所有这些以各种方式帮助过我的人表示感谢，虽然他们中间有些已不在人世。

以下致谢名单按字母顺序排列：沃尔特·阿尔瓦雷兹（Walter Alvarez）、马特·巴克斯、克雷格·本杰明（Craig Benjamin）、查尔斯·毕夏普（Charles Bishop）、莫里斯·布莱森（Maurice Blessing）、斯维特兰娜·鲍林斯卡娅（Svetlana Borinskaya）、朱利安·科纽库娅·F.（Julián Cconucuyca F.）、恩斯特·科伦图尔（Ernst Collenteur）、伦纳特·德克（Lennart Dek）、喀尔斯滕·多米尼克（Carsten Dominik）、兰迪·范·杜伦（Randy van Duuren）、丹尼斯·弗林（Dennis Flynn）、安德烈·贡德·弗兰克（André Gunder Frank）、安德丽亚·加里扎斯维奇（Adriana Galijasević）、汤姆·格雷尔斯（Tom Gehrels）、路易斯·詹多梅尼科（Louis Giandomenico）夫妇、阿图罗·希拉尔戴斯（Arturo Giráldez）、列奥尼德·格里宁（Leonid Grinin）、海布·亨里希（Huib Henrichs）、艾德·范·登·霍伊维尔（Ed van den Heuvel）、亨利·胡姆斯特拉（Henry Hooghiemstra）、帖耶·德容（Teije de Jong）、迈克尔·吉斯特拉（Machiel Keestra）、布拉姆·尼格特（Bram Knegt）、马赛尔·库农（Marcel Koonen）、L.W.拉伯都司（L. W. Labordus）、亚历山大·马科夫（Alexander Malkov）、柯恩·马腾斯（Koen Martens）、约翰·麦克尼尔（John R. McNeill）、阿科普·拿撒勒钦（Akop Nazaretyan）、胡安·普拉多（Juan Victor Núñez del Prado）、唐·奥斯特罗夫斯基（Don Ostrowski）、马腾·彼得森（Maarten Pieterson）、罗伯特·皮尔西格

（Robert Pirsig）、尼考莱·伯德布尼（Nikolai Poddubny）、哈里·普列姆（Harry Priem）、埃斯特·奎黛克斯（Esther Quaedackers）、卢卡斯·赖金德斯（Lucas Reijnders）、理查德·桑德斯（Richard Saunders）、格特简·萨夫涅（GertJan Savonije）、安德烈·施拉姆（André Schram）、瓦克莱夫·斯米尔（Vaclav Smil）、埃斯特列·史密斯（M. Estellie Smith）、格雷姆·斯努克斯（Graeme Snooks）、简·斯皮尔（Jan Spier）、保罗·斯托姆（Paul Storm）、埃格伯特·提莉金（Egbert Tellegen）、约阿希姆·泰斯（Joachim Theis）、迈克尔·范·德·托里（Machiel van der Torre）、巴特·特伦普（Bart Tromp）、安东尼·瓦勒兹（Antonio Vélez）、埃里克·维尔比克（Erik Verbeeck）、约翰·德·沃斯（John de Vos）、简·韦登伯格（Jan Weerdenburg）、若思·沃克豪文（Jos Werkhoven）、彼得·韦斯特布伦克（Peter Westbroek）和拉尔夫·维杰斯（Ralph Wijers）。

我还要感谢大历史所有其他讲授者和为数众多的学生，以及那些xvii以各种方式对大历史做出贡献的人，虽然有些我都记不清了，甚至根本没有觉察到。

我要特别感谢以下学者和人士：大卫·克里斯蒂安，是他与我展开了那么多异常精彩、富有启发的讨论；威廉·麦克尼尔，他始终如一地支持大历史，并总能提出明智的建议；鲍勃·莫尔（Bob Moore）对本书提出了富有建设性的意见，修改了书中所有章节的英语表述错误，还对本书的最终出版起到了至关重要的支持作用；埃里克·蔡森曾指出本书中关键之处的错误并提出重要的修改意见；卡雷尔·范·达姆（Karel van Dam）和盖斯·卡尔斯毕克（Gijs Kalsbeek）为本书的手稿悉心地做出评议；弗兰克·尼尔（Frank Niele）提出尖锐的批评意见，从而使书中有关能量的论述有了根本性的改进；巴里·罗德里格（Barry Rodrigue）修订了书中的文体表述并同时提供令人鼓舞的评议和支持；珍宁·梅尔伯格（Jeanine Meerburg）对本项目（及大历史项目）给予了一贯的支持；我的父母，他们对我所从事的事业总是在背后给予爱与支持并表现出持续的兴趣；我所在的跨学科研究所为我提供了撰写本书的时间和机会；最后，还有我的妻子吉娜，她对我的所为总是充满爱意地持续关注、积极鼓励、热情支持，我的两个孩子路易和朱莉娅也总是充满耐心和好奇。当然，以上所提到的学者和人士完全无须为本书中发表的观点负责。

第二版改正了前一版的少许错误，还添加了一些解释性的文字或改写的文字。有些注释缩减了或干脆删掉了，还有一些注释是新添加的。因为科学本身在过去的五年间一直不断地发展，所以本版还添加了一些新的见解、更新了一些旧观念。此外，每一章还添加了少许的文本框，

内容是相关话题，但独立成篇。

第二版同样是服务大历史课程教学的教科书，如同本书第一版曾在世界各地不少大历史课堂被成功当作教科书使用一样。而且，新版中吸收了不少使用者的建议。不过大多数教辅材料却并未出现在书中，而是粘贴在随购新书便可以自由下载的www. bighistory.info网址上。

在本书的修订过程中，我在很大程度上得益于大历史先驱加拿大裔法国天体物理学家于贝尔·雷弗（Hubert Reeves）的著述，以及过去五年间和选修大历史课程的众多同学及参与讲授大历史的教师的讨论，其中最突出的有阿姆斯特丹大学、阿姆斯特丹大学学院、埃因霍温科技大学、美国密歇根州伟谷州立大学、宾州维拉诺瓦大学和加州的多明尼克大学这些院校的师生们。在参与大历史讨论的学者当中，我还要感谢以下人士：大卫·贝克（David Baker）、莫伊甘·贝赫曼德（Mojgan Behmand）、大卫·布兰克斯（David Blanks）、达芙妮·鲍米斯特（Daphne Bouwmeester）、辛西娅·布朗和杰克·罗宾斯（Jack Robbins）夫妇、洛威尔和康妮·古斯塔夫森夫妇、亨克·胡克斯特拉（Henk Hoekstra）、米歇尔·霍格海德（Michiel Hogerheijde）、约翰·米尔斯（John Mears）、米尔拉姆·夸克（Mirjam Quaak）、简·施密特（Jan Smit）、孙岳、乔·沃斯、薇姆·范·威斯特伦嫩（Wim van Westrenen）和简·扎拉斯维奇（Jan Zalasiewicz）。鲍勃·莫尔和巴里·罗德里格对本版的修订提出了非常有价值的建议。威立-布莱克威尔出版公司的特萨·哈维（Tessa Harvey），还有最近加入的彼得·考文尼（Peter Coveney）及其团队在数年里曾对本书的出版提供宝贵的支持、想法和鼓励，而乔安娜·派克（Joanna Pyke）一流的管理团队和克里斯托弗·芬尼完美的编辑工作都使得第二版有了极大的改进。当然，对于我是否以及在多大程度上采纳了他（她）们的建议，上述人士不须负任何责任。

在过去的40年里，我阅读的范围可谓非常广泛，所以几乎肯定会出现遗漏某些重要参考文献的现象。我希望在本书中所陈述的理论还是系统的，但对这一理论上的创新我只能说有一部分是来自我自己，而其他大部分都是来自他人的思考和著述，所以非常有可能的是：我声称原创，但事实是我只不过感觉是自己发明的。很有可能是他人在我之前已有所发明。所以我恳请所有读者察觉到这种情况一定及时指出并告知我。

弗雷德·斯皮尔

参考文献

‘50 years in space: My favourite photo.’ *New Scientist*, issue 2620, 8 September 2007 (40). Allen, Timothy F. H., Tainter, Joseph A. & Hoekstra, Thomas W. 2003. *Supply-Side Sustainability*. New York, Columbia University Press.

‘The Awesome Views from Apollo 8.’ *Time Magazine*(Atlantic edition), 10 January 1969 (29).

Chaikin, Andrew & Kohl, Victoria. 2009. *Voices from the Moon: Apollo Astronauts Describe Their Lunar Experiences*. New York, Viking Studio.

Goldberg, Vicky. 1991. *The Power of Photography: How Photographs Changed Our Lives*.New York, Abbeville Publishing Group.

Harris, Marvin. 1975. *Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology*.New York, Harper & Row.

Ledeboer, A. M., Kroll, A. J. M., Dons, J. J. M. et al. 1976. ‘On the isolation of TI-plasmid from Agrobacterium tumefaciens.’ *Nucleic Acid Research 3*, 2 (449–63).

MacLeish, Archibald. 1968. ‘A reflection: Riders on Earth together, brothers in eternal cold.’ *New York Times*, 25 December (1).

Meadows, Dennis L. 1972. *Rapport van de Club van Rome: De grenzen aan de groei*.Utrecht & Antwerp, Het Spectrum, Aula 500.

Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, Jørgen & Behrens III, William W.1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome Project on the Predicament of Mankind*. New York, Potomac Associates (authorized reprint from Universe Books).

Poole, Robert. 2008. *Earthrise: How Man First Saw the Earth*. New Haven & London,Yale University Press.

Spier, Fred. 1994. *Religious Regimes in Peru: Religion and State Development in a Long-Term Perspective and the Effects in the Andean Village of Zurite*. Amsterdam,Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1995. *San Nicolás de Zurite: Religion and Daily Life of an Andean Village in a Changing World*. Amsterdam, VU University Press.

Spier , Fred. 1996. *The Structure of Big History: From the Big Bang until Today*. Amsterdam,Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 2005. ‘The small history of the Big History course at the University of Amsterdam.’ *World History Connected 2*, 2. http://worldhistoryconnected.press.uiuc.edu/2.2/spier.html.

Spier, Fred. 2012. ‘The elusive Apollo 8 Earthrise photo.’ In: Boeck, Brian J., Martin,Russell E. & Rowland, Daniel (eds.) *Dubitando: Studies in History and Culture in Honor of Donald Ostrowski*. Bloomington, Ind., Slavica Publishers (409–23).

[1] 有关照片《地球升起》带来的巨大社会影响，可谓文献众多。可参阅MacLeish (1968); Goldberg (1991), pp. 52-57; Allen, Tainter & Hoekstra (2003), pp. 1-2; ‘50 years in space: My favourite photo,’ p. 40 and Poole (2008)。同时参阅Spier (2012)。

[2] B.ttcher in Meadows (1972), p. 7.

[3] B.ttcher, King, Okita et al. in Meadows (1972), p. 15. 不过有趣的是，1972年版却删去了这一导言。

[4] 我在生物化学领域发表的论文仅有Ledeboer, Kroll, Dons et al. (1976)。

[5] 我对秘鲁的研究成果主要见于Spier (1994 & 1995)。

[6] 有关阿姆斯特丹大学的大历史教学，更多资料可参阅Spier (2005)。

大历史简明年代表

ABB：大爆炸之后

BP：此前（此前的“此”在此通常指1950年）

CE：一般纪年=AD（公元后）

X年以前：这里的X指2015年（即本书英文版出版的时间）

时　间	事　件
138 亿年 BP	“大爆炸”
4 分钟 ABB	基本粒子（质子、中子、电子和中微子）出现
4 至 15 分钟 ABB	氘、氦、锂和铍的核合成
5 万年 ABB	从辐射期向物质期的转变
38 万年 ABB	宇宙中和与宇宙背景辐射的出现
7 亿至 20 亿年 ABB	星系和恒星出现
46 亿年 BP	太阳系出现
46 亿至 45 亿年 BP	近日行星出现
45 亿至 39 亿年 BP	冥古宙，包括宇宙轰击
38 亿至 45 亿年 BP	生命涌现
34 亿年 BP	最古老的叠层石与光合作用的出现
20 亿年 BP	大气和真核细胞中游离氧的出现
5.4 亿年 BP	寒武纪复杂生命形式的大爆发

4 亿年 BP	生命向陆地迁移
2 亿年 BP	恒温（温血）动物出现
6,500 万年 BP	据说小行星撞击结束了恐龙的统治，为哺乳动物创造了生存空间
400 万年 BP	双足行走的南方古猿出现
200 万年 BP	直立人出现
20 万年 BP	智人出现
1 万年 BP	农业的出现
6,000 年 BP	最早的国家出现
500 年前	第一波的全球化浪潮
250 年前	第二波的全球化浪潮（工业化）
70 年前	第三波的全球化浪潮（信息化）

第一章
大历史导论

引言

这本书讲大历史，即将人类史置于宇宙史大框架下的历史，从宇宙开端到当今地球上的全部生命。大历史俨然不同于既有的学术界通行的人类史，在大历史中，人类的历史是从整个自然史的视角加以审视的，始于“大爆炸”。做大历史研究，是为万事万物如何演进至今提供现代科学的答案。因此，大历史为读者理解整个人类的历史提供了崭新的叙事，使我们能够为自己在时空中的发展定位，而这是任何其他形式的学术史迄今所无力做到的。此外，大历史还有助于我们创立一种新颖的理论框架，原则上能够将人类全部的科学知识整合其中。

“大历史”一词是由史学家大卫·克里斯蒂安（1946— ）创造出来的。[1]早在20世纪80年代，克里斯蒂安在澳大利亚悉尼的麦考瑞大学开设了一门跨学科课程，其学术旨趣是让从天文学家到历史学家的多学科专家分工协作，共同讲述一种无所不包的历史。这门课程后来成为其他大学竞相效仿的模本，其中包括我自1994年先后在阿姆斯特丹大学和埃因霍温科技大学开设的两门课程。

虽然大历史课传授的知识在学术圈里都很容易找到，但这些知识却极少以某种统一的历史叙事形式呈现出来。其原因在于，在过去的200年里，大学业已分化成为数众多的专业和院系。而自20世纪80年代起，从历史学家到天体物理学家都纷纷在专著和文章中书写新的统一的宏大历史综论。

在以下的篇幅里，我试图对大历史做一番解释。大历史作为一个学术领域正在兴盛和发展之中，本书的目的在于对这一无所不包的历史做一新颖的陈述，其中特别得益于美国天体物理学家埃里克·蔡森（1946— ）的相关著述并试图在此基础上提出一种无所不包的历史理论，将人类史置于这一大的历史框架下加以分析讨论。本书第二章介绍该理论

框架，而此后的章节则试图将其应用于大历史的叙事。本章余下的部分先讨论一些有助读者更好理解大历史的主题。

历史研究

要理解本书所提出的历史观，读者有必要先回顾一下历史研究是如何进行的。哈佛大学历史学家唐纳德·奥斯特洛夫斯基（Donald Ostrowski，1945— ）曾言简意赅地指出："我们不可能准确无误地研究历史，因为历史已经过去了、不在了。"[2]奥斯特洛夫斯基这样说，指明了一个无可否认的事实，即我们对历史的全部认知只能来自当下，因为如果没有当下的知识，我们如何能够认识历史呢？这一原理既适用于宇宙史，也同样适用于人类史。这一历史知识只能潜藏于当下的观点对历史学家而言并非新知，却鲜有清晰的表达。[3]在笔者看来，这一问题在大历史中比在传统历史叙事中更显突出。

因为历史全部的证据只能在当下，所以要创造一种历史叙事就必然意味着要对当下的证据做一番解析，而解析的过程也脱不开自身的历史。之所以如此乃缘于我们要体验周围的环境以及自身的存在都离不开这样的解析过程。结果是，全部历史叙事都是某种形式的重新建构，也因此会随着时间的推移发生改变。还有一点，就是历史研究不可能得出确定无疑的结论，而只能是某种趋近历史真实的真实。换言之，绝对真实的历史叙事根本不存在。这样说好像意味着历史可以无穷多的方式加以审视和解析，但在我看来，倒不是这样。如同其他任何一门科学，检验历史重构真实性的主要依据是其是否，以及在多大程度上，能够以一种极简明、极确切的方式与现存数据相呼应。但有一点也不容否认：任何历史重构都只能涵括经史学家筛选的有限的语境和少许的数据资料。

我们全部的历史知识只存于当下还意味着：对于那些曾经发生但却未留下任何痕迹的历史事件，我们不可能有任何认知。甚至对于那些曾发生也确曾留下痕迹的事件，如果还没有被发现或解析，我们同样不具有任何认知。而这样的历史事件可能是最大量地存在的，虽然对此我们永远也无法确认。对历史研究中的这一疑问极少被史学家关注，这一点本身颇令人惊奇。不过话说回来，如果现实情况与此恰恰相反，即对于历史上曾发生的所有事件，我们能够拥有和支配全部的详尽信息，那我们则会被大量存在的信息完全淹没。更进一步，如同威廉·麦克尼尔曾言，从事令人信服的历史重构，其诀窍在很大程度上就是弄清究竟是哪些事件被排除在外了。其结果，全部的历史重构都不过是临时拼凑的斑

斑点点，就像地图一般。

要进行令人信服的历史重构，我们至少要做两件事：第一，要弄清数据产生后自身所经历的历史，包括被人发现；第二，要弄清这些数据能够阐明历史中的什么问题。毋庸置疑，任何学术史研究都必定涵括这两项重构的工作，虽然有时这一点并不明白交代。就大历史而言，美国畅销书作家比尔·布莱森（Bill Bryson, 1951— ）的《万物简史》（*A Short History of Nearly Everything*）非常精彩地阐释了前一种历史重构，而大卫·克里斯蒂安的巨著《时间地图：大历史，130亿年前至今》（*Maps of Time: An Introduction to Big History*）则致力讲述整个历史。与后者不同，布莱森的历史不包括人类史，这可能是因为那时以全球为单位讲述人类史的传统还没有形成。

历史研究，包括大历史研究，是持续不断的有关历史事实的观察和理解的讨论，并凭借这一做法，建构最可信的历史发展图景。这种种建构和叙事正是人们对过去历史的回应。只不过在现实中，这类问题却经常陈述不清，有时干脆被省略了。这样的话，其得出的结论或历史回应就会显得无中生有或凭空而来。比如，《圣经》中的《创世记》（Beresheet/Genesis）对宇宙时空及地球、生命和人类起源的根本问题给出的是宗教神启的答案，但上述问题本身却没有提及。而带着上述问题研究圣经故事，人们就会看清其中有关人类起源问题的讨论，以及对相信这类故事的人们来说其所给予的答案是多么令人信服。若全世界的学者都这样地对宗教故事加以研究，他们也会将宗教神启故事及相信宗教的那些人置于一个崭新的社会科学视角来看待。

现代学者的历史叙事虽然给出的是基于学术的历史回答，但对上述根本问题仍经常三缄其口。不过我们一定要记得，而且要如是教导学生，那就是所有知识，包括大历史知识，都是富有好奇心的人对近乎无穷尽的各种问题求取答案的结果，而求取答案的过程也是一个永无休止的对话且时刻处于某种具体的社会语境之中。确切地说，大多数学术研究并不特别关注那些带根本性的问题，而只试图求解较小较具体的问题，但原则上，哪怕是这些小的问题的答案也应该能够嵌入整体的宏大历史框架内。所以，大历史叙事必然是众多学术研究成果的集合，无论后者的规模是大还是小。

宇宙世界观的缘起

威廉·麦克尼尔在其自传《追求真理：威廉·麦克尼尔回忆录》

（*The Pursuit of Truth: A Historian’ s Memoir*）一书中主张，最早的世界观似可追溯到数十亿年前，那时候最早的生物体开始用最早的原始感官对周围的情况做出镜像反映，而这些镜像又通过神经系统与最初的原始大脑相连接（2005年，第32—33页）。而到了几百万年前，这些感官和大脑的体积业已增大，变得更精致复杂，其交流的能力也得到大幅提高，此时便具备了新物种涌现的条件，新物种不但能在大脑中成像，还能与其他成员讨论并因此改进上述镜像。

早期人类形成的世界观的证据大多数早已消失，因为这些种类的世界观没有通过形象或文字的方式记录下来，所以我们也无从去理解。但我们有理由相信，早期人类曾经历一个漫长的世界观形成和讨论的时期，基于试错（trial and error），融入各种感官意象，并夹杂着自身的追求和想象。这种早期的世界意象肯定是基于现实并能够促进甚至提高早期人类的生存概率。当然，这种早期的世界观还取决于早期人类社会的规模，社会、认知和技术发展的阶段以及其所知所处的地理范围。

亚历山大·冯·洪堡（Alexander von Humboldt）在他《宇宙》（*Cosmos*,1866）一书第二卷有关人类“从物理角度对宇宙的沉思史”中有与上文类似的观点，而且我认为洪堡对这一主题的综述仍是最有质量的一种，甚至是最好的。洪堡提出，地中海沿岸诸民族伴随不断的迁徙，其世界观得到不断的改进，他们对世界的了解也日趋增长且变得更精确。随着时间的推移，虽也曾有起落沉浮，但人类改造世界的技能不断提高，迁徙、贸易和征服更增进了不同地域间人们的彼此接触，包括与伊斯兰世界、印度和中国的接触，人们的宇宙世界观也因此变得日趋宽广且日益先进。在公元1000年至1500年的西欧，伴随加剧的内部竞争、全球征服和不断拓展的贸易，人们的上述观念得到进一步阐发和改进。

亚历山大·冯·洪堡认为自己发表于1945年至1959年的《宇宙》系列丛书是上述发展的一个顶峰。不过就在亚历山大·冯·洪堡撰写这一系列丛书之时，科学的发展却经历了一个日趋专业化的过程，从而使得类似无所不包的世界观的建构变得愈发艰难。只有到了20世纪，伴随科学宇宙史的出现，这种大型的基于科学的宇宙观才成为可能。

作为长时期不断改进世界观的努力的一部分，世人也学会了更多地从远端观察地球，上述阿波罗号航天员拍摄到的“地球升起”图片即是一例。英国史学家罗伯特·普勒（Robert Poole，1957— ）在

其著作《地球升起：人类终于第一次目睹地球》（*Earthrise: How Man First Saw The Earth*, 2008）中讲述了人类如何历经数千年在世界各地畅想飞向月球并从那里回望地球的故事，想象着镶嵌在宇宙中的地球家园从那里看会是什么样子。此外，人类为整个地球绘制全图的努力也在很大程度上促进了宇宙世界观的形成和不断改进。美国亚历山大·冯·洪堡地理学教授丹尼斯·科斯格罗夫（Denis Cosgrove，1948—2008）在《阿波罗之眼：西方想象中的地球全图谱系》（*A pollo's Eye: A Cartographic Genealogy of the Eerth in the Western Imagination*，2001）中对此有详细的描述。

至于学术界对现实问题给出的答案是否靠谱，我们是无法预测的，因为这取决于相关学者是否有创造力、足够的知识和巧思灵变，还有这些学者在生活于其中的社会是否享有自由表达的权利。有时乍看起来毫不沾边儿的答案却衍生出重大的现实意义。这里举两个例子。1928年，苏格兰科学家亚历山大·弗莱明（Alexander Fleming，1881—1955）爵士看到培养皿周围的微生物显然被器皿中业已污染的霉菌杀死便感到非常好奇，他的研究最终导致发现青霉素，人类也因此对微生物界生物间的残酷战争有了根本洞见。美国天文学家维斯托·梅尔文·斯里弗（Vesto Melvin Slipher，1875—1969）1913年同样是对天空中一群模糊不清的微小物体感到好奇，于是非常吃惊地发现这些物体发出的光正发生"红移"，就是说它们正不断加速远离我们而去。而到了20世纪20年代，美国另一位天文学家埃德温·鲍威尔·哈勃（Edwin Powell Hubble，1889—1953）对上述微小物体的位置进行测量，发现了整个宇宙正在膨胀的现象。结果，二人共同的发现为全新的宇宙史提供了实证证据，因而对宇宙起源这个亘古至今的老问题给出了完全不同以往的新答案。

在大历史中，为强调问题答案的实证证据，有时我们要求学生在课内对相关问题进行观察和实验，尤其是那些结果尚不可知的问题。此外，我们特别强调好奇心、探究精神和直觉的重要性，特别是在下述情况：某些问题显得似是而非，人们的理解可能有误，问题本身非常奇特或让人捉摸不透。这是因为，历史上的重大发现，甚至将来的重大发现，都是这样成就的。

当然，对问题给出的答案必须在程序上符合既有的科学方法。全部的历史学术叙事都是借助实证证据并按逻辑推理组织的，此间还包括某种理论框架，后者虽然可能只是隐而不宣，有时也明白发布。当然比较理想的情况是，现有的全部数据都可以被纳入上述理论框架，只不过在

现实当中，这种情况却比较少见，所以才招致人们长时间地讨论究竟应如何看待历史。历史上曾有一代代的史学家和哲学家探讨过这类一般性的大问题。笔者无意在此对既往的讨论做一全面归纳，我们只讨论人本身的一个重要特征，正是这一特征让人类有能力识别模式并依此像制图一样进行构建，这样便可以简化大量的感官数据并把数据归并到某些模式中。人在这方面的能力要远高于其他任何动物[4]，而正是因为具有这种能力才成就了人类能够发展至今。

人类对历史的建构可能非常不确定，但其唯一可声言确定不移的仍离不开历史。显然，对于未来的发展，我们手头没有任何确凿的数据可以说明，我们所能有的只是在现有数据的基础上勾勒出未来可能的大致轮廓。有人主张当下是可以有确定说法的，但很不幸，所谓当下同样是个稍纵即逝的范畴。我们尽管可以说当下即“现在发生的事”，但一旦我们谈论当下，当下却已经成为过去。这对科学实验也是一样。在从事科学实验的时候，我们想要确定的现实却一劳永逸地过去了。不过，我们能够抓住的——如果我们的工作做得足够好的话——却还有观察数据，而观察数据更具持久性，当然这还取决于我们是否做了恰当的记录。结果，我们对当下的研究无可避免地成为对历史的某种形式的建构。正因此，我们说历史研究是科学知识最杰出的全部。

“当下”的确是个颇令人生疑的范畴。我有时在课堂上对学生们曾举例说，人们见面的时候彼此互视，其实彼此看到的却是过去的对方。这一结论实无可避免。凡是我们彼此觉察到的有关对方的任何信息都是基于感官数据。就课堂教学而言，师生间的彼此觉察大致关乎声音、光亮和气味，而这些信息都需要时间才能为人所觉察。声音在海平面所谓一般条件下穿行的速度是每小时大约1,225千米（761英里/小时），而光在真空中的传播速度是每小时约1,079,252,848千米（670,616,629英里/小时）。虽然在课堂上这类觉察的时间差非常小甚至可以忽略不计，但时间差却是存在的。所以我们只能觉察到彼此过去的形象，而唯一可以确信的当下只在我们自身之中。

不过这样说也还是有问题。比如有人问，觉察存在于我们自身的什么地方呢？是在大脑吗？我们不是主张大脑储存我们对自我及周围世界的觉察吗？当然，我们觉察到的任何感官——比如通过眼和手指——信息都需要时间才能抵达大脑。但究竟在大脑的哪一部位呢？因此，我的结论是：人们通常所谓的共享的有关当下的觉察其实是人本身的建构。

深究人际间的直接互动好像是有点儿吹毛求疵。但在大历史中，此类问题很快就会变得异常严峻。首先，我们对更大背景下的当下，比如

人类当下在宇宙中的位置，该做何判断呢？因为宇宙太大了，所以光需要很长时间才能抵达地球。一般而言，光抵达地球所需的时间越长，证明其存在的时间越久远。因此，天文学家常说，我们捕捉太空中的光，实际上是在回溯历史。[5]这就意味着：人类根本不可能了解宇宙的现状，因为宇宙当下发出的大量的光还没有抵达地球呢！

因此，历史研究无可避免地要使用某种时间框架，只有时间框架确定了，我们才可能依此对业已发生的历史事件进行排序。在过去的数个世纪里，史学家们曾花大力气构建了相对可信的历史时间框架，也因此成为历史的骨架。当然这一历史时间框架是以地球为中心的，而地球围绕太阳的周期性旋转（界定了年）和其本身的自转（界定了日夜）对人而言也成为稳定的标志，让人类能够依此把历史的时间框架进一步划分为日、周、月、年、十年、世纪和千年。就近期大约1万年的人类史而言，地球的公转和自转基本上还算稳定，不至于对研究者的时间建构造成什么大不了的问题。可一旦我们开始审视大约46亿年之久的地球的历史，就会发现地球的自转实际上是在不断放缓，而且我们也无法确认其围绕太阳的公转是否也曾发生变化。换言之，历史上的年可能不同于现在，而相比过去，日夜实际上已经缩短了许多。

因为在大历史中，我们要追溯到宇宙的起源——据说是发生在138亿年前，因此远在太阳和地球问世之前——所以上述问题会变得愈发严峻。显然，我们除了从现在和地球的视角观察之外，不可能有其他的办法去追溯宇宙开端留下的早期遗迹。也正因此，我们的大历史建构也无可避免地要以基于地球的时间框架为基，下限为当下或现在。我们根本不可能有任何其他的时间框架来从事建构。因此，大历史叙事的时间框架必然也是以人类为中心的。当然这并不意味着宇宙演化就是以地球为中心展开的，这里只是说大历史的叙事中心依然是现在。

有关这一点还需些许解释。除了陨石和其他宇宙物体之外，我们人类从宇宙接收的信息都是通过电磁辐射，电磁辐射抵达人类所需的时间取决于该天体与地球之间的距离和彼此运行的速度。有些天体事件发生在很久以前且与地球相距较远，可能到现在其发出的电磁辐射才能到达地球，而另外一些天体事件可能最近才发生且离我们较近，却可能同时抵达。至于其他的天体事件，也可能是最近才发生，但由于离地球非常遥远，我们则可能全然不知，因为其电磁辐射还没有到达地球。同理，也有可能早就发生事件的天体距离地球较近，却由于其电磁辐射已经穿越地球且永不再回返，我们也因此一无所知。

因此，人类借助可观测到的电磁辐射重构宇宙史的能力还是有限

的。比如，仅就过去人类史的1万年而言，我们人类在此期间还不可能弄清银河系演变的历史，因为大量的电磁辐射还未能到达地球。至于在全球化期间（大约500年的时间）宇宙究竟发生了些什么，我们能够得到的信息至多只有500光年之遥，而这对银河系来说只是非常小的一部分。换言之，离现在越近，我们对宇宙了解得就越少。趋近当下，我们能拥有的信息只是关乎自己的，而其他信息都是关乎永远消逝了的过去的。所以我们要说大历史必然以地球和人类为中心。

1845年，普鲁士博物学家亚历山大·冯·洪堡曾这样描述[6]：

> 不过，宇宙中的事件只关乎历史事实，事件发生的时间远非其通过光线抵达地球上人类的时间：人类知晓宇宙事件就好像在倾听历史的回声。

也许有人会问：人类观察太空至少已有数千年之久，那我们当然有足够的信息重构更长时段的宇宙史了？比如，远古恒星的爆炸，在当代就有人做了观察，这些观察结果再加上现代人的观测，至少能够让人类重构远古恒星爆炸以来天体事件的顺序？不过即使如此，上述疑问却不能否定一般规则，即假如我们研究宇宙天体所依据的实证证据是天体在最近发出的，那么该天体离我们的距离也不会太远。我们当然有理由假定宇宙中的其他天体与离我们较近的天体在演变原理上大致相当。如果真是这样的话，那么大历史的框架当然也会更大。只不过凭现有的探测技术，上述假定还缺少实证证据，所以假定本身有可能是错的。如果我们认定大历史叙事一定要基于实证证据，那么大历史必然是以地球为中心。

总之，由于我们人类建构历史所使用的信息或数据总是无可避免地蕴藏在当下，人类的解析因而总是呈人类中心主义且在某种程度上是地球中心主义的。因此，要从事宏大的宇宙史研究必须首先认识到这一点，而在处理数据的过程中亦应胸怀此认知。

这当然不是很容易，但似乎是我们所能做的唯一合理的事情。一方面，我们可以说人类的知识只能存于当下，但另一方面，我们也可以反过来说：若要了解万事万物的起源，那我们就必须研究大历史。比如，在本书第三章我们会看到，塑造了当今人类复杂构成的组块以及人类周边各种复杂组成的一切都可以追溯到宇宙最初的诞生与演变。正是这一洞见使得大历史显得异常重要，对所有试图认清万事万物科学起源的人

而言，大历史都不可或缺。

大多数人类社会都是凭直觉认识到这一点的。正如大卫·克里斯蒂安强调指出，已知的所有人类社会都曾讲述有关其自身及周边万物起源的故事。从学术观点看，这类叙事都属于创世神话的范畴。[7]但这并不是说此类故事或神话不重要，正相反，这里故事和神话为相关社会提供了由群体共享的方向感、意义、认同和目标，因为故事和神话正相当于生活在不同地域的人们对自身自然和社会环境的某种图示。直到今日，人类社会尚有大多数成员以这种或那种方式接触此类故事和神话。当然，我们不知道人们是否一直相信这类故事。但比较明智的做法是：试想一下，所有人类社会是不是也都有怀疑此类故事的人呢？但我们还是可以想象，早期社会的大多数成员——如果不是所有人的话——大都接受故事或神话的观点，因为毕竟当时另类的世界观非常有限，如果当时真有另类世界观的话。

早期的国家社会诞生于五六千年以前，那时候，新兴的国家精英开始努力推销自己青睐的创世神话，而不同的说法则被边缘化。在相当长的时期，大多数或差不多所有的神话性质的“大历史”都只有地方或区域属性，这同时反映出当时社会的规模及其与其他社会交流的程度。比如，印加人的历史故事当然不包括位于墨西哥的阿兹特克人，更不可能有欧洲人（虽然后来有些学者认为某些故事还是提到了白种人）。印加世界的中心就是印加人生活的区域，比如，印加人曾把其首都库斯科（Cuzco）视作世界的肚脐。

而伴随不同社会的规模日趋增大且彼此间有了更多的联系，有些创世神话便开始四下传播，而也有神话故事命运不济。比较成功地传播自身创世神话的包括《圣经》中的《创世记》，《古兰经》的故事与前者有类似之处，印度教的历史叙事等。[8]

在西欧诸社会的中世纪末期，出现了在天主教神职人员指导下制成的所谓“世界地图”（mappae mundi），有时也在教堂里做公众展示，而这也是对创世等大问题的解答。这类地图往往把世界的中心放在耶路撒冷，而且对所有已知的世界都有描绘（如欧洲、亚洲、非洲）。这类通常挂在墙上的地图其实远不只是地理方位的标示。比如，非常有名的大约创作于1300年的赫里福德世界地图（Hereford mappa mundi）就同时展示了不同地域的很多历史事件，尤其是《圣经》中的“创世记”故事。所以说欧洲中世纪的“世界地图”事实上兼具地理指示和历史叙事的功能。在（今）德国美因茨的约翰内斯·谷腾堡（Johannes Gutenberg，1395—1468）于1450年前后在发明铅活字版印刷之后，上述“世界地

图”的体裁得以延续，其中非常有名的一个示例是1544年《世界志》（*Cosmographia*，或称《宇宙志》）图书系列的首版，其作者是德国制图家塞巴斯蒂安·明斯特（Sebastian Münster，1488—1552），图书也是融历史和地理于一身，开篇是基督教的《创世记》。该图书系列的名称《世界志》可追溯到更早的宇宙志，甚至到15世纪早期西欧人重新发现的极富影响的托勒密（Ptolemy）学说。后世作者的作品也有不少使用了同样的书名。

在欧洲的中世纪，也有一些有关世界史的著述，其中最有名的可能要算是雷纳夫斯·希格登（Ranulphus Higden，约1280—1364）在1330年至1360年期间编著的《编年史》（*Polychronicon*），其开篇为《圣经》中的《创世记》，而终篇为当代史。时人把《圣经》创世神话和世界史融合在一起的观念可回溯到罗马帝国晚期，且一直持续到19世纪，对此大卫·克里斯蒂安等学者早已明白指出。笔者将这种类型的历史称为初期的大历史，因为其叙事将宗教神启的深度史观与更晚近时代的经验史实结合到一起。[9]

肇始于16世纪的全球化进程造成了某些创世神话在全世界范围得到广泛传播，其背后总有强大的国家社会所支持，而另外一些叙事则趋于边缘化，甚至完全消失。直到最近，随着现代科学观念在人类社会公共领域的迅速普及，原有的创世神话大多被推送到私人领域。与此同时，历史研究几乎被全世界各地的大学所垄断，在大学的氛围，历史研究被界定为有文化人的学术事业，所有有别于此的叙事都被排除在历史之外。那么为什么现代学术界要这样界定历史呢？

大历史与其他类型的历史

大历史与其他形式的历史有何不同呢？准确地说，所有人类在日常生活中都会讲述或消费历史故事。五花八门的历史甚至包括私人间的随意交流，比如“你猜今天发生了什么事儿”或“你还记得当时……”之类，以及从新闻媒体和互联网了解到的历史信息。

不过相比之下，专业史家讲述历史故事的时候却有更为严格的标准，即必须基于细致的学术研究和深入的反思。专业史家的成果通常以学刊论文和专著的形式发表。除了部分专门面向普通读者的著述之外，专业史家作品的受众大多是同行专家。

但基于专业史家的研究也出现了不少通俗的历史作品，有些是

专门服务于课堂教学，还有些被拍成了电视系列节目或成了畅销书。大多数读者喜欢那种有情感诉求的历史叙事，喜欢对异域他乡或不同时代的人物给予同情甚至认同，尤其是这类人物和故事对自身的生活际遇有所启迪的时候。正因此，那种富有浓厚感情色彩的有关国家、区域和地方的历史往往特别受欢迎。

比较而言，那种基于明确的历史模式且带分析性的历史作品往往不为大多数读者所接受，但其优点是对那些有学术倾向的读者颇有启迪，因为这类作品往往把各方的优劣势交代得非常清楚。而在通俗的叙事中，历史证据往往交代不清，也不说明为什么选择了故事的某些方面而舍去了其他方面。

大历史会启发人们思考其他不同形式的历史。比如，放开视野，将整个时空演进都考虑进去，原有的故事情节会发生哪些改变呢？大历史倡导的某些理论方法是否也会有助于人们更好地理解较小规模的历史呢？

当然，论讲故事，所有尺度的历史都很重要。有大批锐意谨严的史学家致力于包括人类社会、生命、地球和宇宙等多个尺度的历史研究，其叙事不乏系统的实证证据，也是大历史必须依靠的。大历史叙事要能够容纳多个尺度的小规模历史；而一旦出现大的偏差，则必须严肃深究，其结果可能是实证数据的重新解析或历史叙事本身的改变。这是学术研究的原理，大历史也不能例外。

大历史学术简史

现代的具有学术根基的历史学科发端于19世纪，是欧美各国兴邦建国过程中的一个组成部分。对当时的专业史家而言，第一要务是要塑造一种令国民自豪的民族国家史（在当今荷兰被称作“爱国史”），这种历史的目的是为国民赋予新的社会认同。这些史学家效仿的先例是古罗马的史学家，比如提图斯·李维（Titus Livy，约公元前59年—公元17年）。爱国史的书写特别强调使用文字史料。随着时间的推移，专业史家除了研究“自己”国家的历史之外也会旁及其他地区的历史，而民族国家史也变得日趋超脱。但在学术界，从整体上研究人类史的至今仍不多见。[10]究其原因，可能是人类史会导致全球认同，而这一认同在目前还找不到实存的国家社会来支撑。

由于强调文字史料，大多数史学家在概述中均把历史的开端置于文字的出现阶段，其书写的重心通常是作为“自己”国家先驱的早期国家（通常被称作“文明”），而人类史的其他部分则被称为“史前史”（prehistory），属于考古学家的研究范畴。[11]虽然这种学术分工似乎主要是强调文字史料导致的，但可能同时另有他因。美国史学家丹·斯梅尔（Dan Smail，1961— ）在2005年曾强调指出，现代史学家极力凸显的约6,000年的历史时段与《圣经·旧约》叙事中的整体时段非常接近。读者可能还记得英国圣公会大主教詹姆斯·厄舍（James Ussher，1581—1656）1654年那次有名的计算，即根据《圣经》的记载，世界应该是在公元前4004年创造的。《圣经·旧约》叙事的时段与专业史家确认的历史时段竟如此接近，难道这只是一种巧合吗？斯梅尔不由得心生疑惑：莫不是现代史学家仍在“神圣历史的掌控之中”？[12]

如前所述，直到18世纪甚至19世纪早期，西欧和北美的大量历史畅销书仍然把《圣经》中《创世记》的记述作为历史的开篇。接着，作者们又把最新得来的有关世界各地不同人群的历史缀合到一起。其实这种叙事是延续了上述中世纪早期的大历史传统。这种书籍有的非常流行，印数也非常可观。这种形式的历史直到19世纪中叶仍享有众多读者。

不过到了1840年前后，受工业革命的激励，地质学迅速兴起。地质学的研究成果向法、英、美等国的学者清晰说明：地球的历史远比人们以前想象的要长，虽然此时的地质学家还不能说明地球史究竟有多长，

因为当时还没有可靠的岩石和化石年代测定技术。这一拉长了的历史时段必然就意味着《圣经》的创世神话不可能是正确的叙事。美国学者约瑟夫·伍斯特（Joseph E. Worcester，1784—1865）1850年在其新版《古今历史要略》（这本书可是“哈佛学院录取新生入学考试的必读书”）的第5页这样写道：

> 现代地质学为世人廓清了一系列此前不为人知的重要且有趣的事实，在科学人士中间树立了一个信念，即地球史要比先前认定的时段漫长得多，甚至基督教会中最有学问的神职人员也已经采纳并按照这一观点重新解释《圣经》中的创世神话。

只是非常遗憾，伍斯特并未说明这种新的《圣经》创世神话的解释究竟是什么样子。

然而，伴随现代民族国家的兴起以及随之成形的专业史学的发展，正在萌生中的大历史却被学术界忽略了。新兴的专业史学摆脱了《圣经》的叙事传统，开始依据更为合理可靠的文字史料构建历史叙事，即始于美索不达米亚和埃及的早期国家，这种远古社会被专业史家看作是现代民族国家的先驱。这样，民族国家的历史书写及为自身的文化传统溯源（在美国，这项工作被称为“西方文明的轨迹”）在实践中超越了为整个地球人写史的努力，包括人类的起源问题。

专业史家在抛弃有关创世问题业已不可信的传统解答的同时，也放弃了有关万事万物起源的大问题。这种放弃似乎是在完全没人注意的情况下发生的。取而代之的是史学家对“自己”民族国家起源及其所谓文化根源问题的关注和解答。此外，由于大多数史学家把注意力主要放在了自古至今人的行为上面，自然环境的因素也被相对忽略了，后者逐渐成为新兴的地质学和地理学的研究范畴。人们更多关注人的行为的趋势在其他新兴的社会科学领域也有发现，比如在心理学、社会学和文化人类学领域。因此，究人事之学逐渐远离生物圈之类的话题，更不要提整个宇宙了。

当然，也有史学家——其中最突出的要算法国史学家费尔南·布罗代尔（Fernand Braudel，1902—1985）及其继承者——对自然环境给予了系统关注并将其视为历史研究不可分割的整体的一部分。但大多数史学家却并不以为然，而喜欢围绕人的行为展开自己的历史叙事。至于本是出于对环境问题的关注而在20世纪70年代末80年代初诞生的历史分支

学科环境史，直到现在也还没有成为历史学的主流。

史学缺少对人与自然环境的整体关注，这一点恰好反映了基督徒所谓《旧约》与《新约》之间的差别：在前者占据《圣经》的大部篇幅中，本有相当一部分表现出对人与自然环境的关注的，而在后者有关拿撒勒人耶稣的叙事中，其关注点几乎全在人事。这种状况的一个潜在原因可能就在于《新约》的作者及19—20世纪大多数的专业史家居住在城市，城市环境使这些人无法直接体验人与自然之间广泛而密切的接触和互动，所以在书写历史时就忽略了这一点。如果此说成立的话，那么至今仍颇为流行的“西方文明的轨迹”就可谓在很大程度上代表了世俗版的耶稣生前事后的故事，基督教世界自然是主流，而其他社会进入故事与否则取决于其与基督教文化圈是否曾有交集。

由于民族国家史长期居于主导地位，世俗人类史在学术界始终未能成形，虽然专业史学的文化翘楚利奥波德·冯·兰克（Leopold von Ranke，1795—1886）本人曾热衷书写人类史，兰克称这种人类史为“世界史”（Weltgeschichte）和“普世史”（Universalgeschichte）。[13]启蒙时代的史学家，如大卫·休谟、爱德华·吉本、威廉·罗伯逊、弗朗索瓦——马利·阿鲁埃·德·伏尔泰等，都成了专业史家笔下的文化英雄，他们在疏远宗教叙事的同时，也可能是因为这一点，却放弃了有关万物起源问题的探索。这些文化英雄有时也会痛斥通俗的人类史，而去书写“自己”国家或类似其他国家的历史，或追溯远古以来“自身”文化的历史。

20世纪上半叶的学术界，只是由于极少数坚定无畏的专业史家的努力，人类史才得以幸存下来，这其中最突出是阿诺尔德·约瑟·汤因比（Arnold Joseph Toynbee，1889—1975）。而在学术界之外，人类史的著述反倒非常流行，比如韦尔斯（H. G. Wells，1866—1946）的著作。究其原因，这很有可能是受全球化进程的激励。不过尽管有英国史学家杰弗里·巴勒克拉夫（Geoffrey Barraclough，1908—1984）早在1955年就极力主张要书写全新形式的“普世史或通史”，直到今日，大多数专业史家依然不为所动，拒绝书写任何形式的地球人类史。[14]

然而到了20世纪中叶，情况发生了转变。一些富有远见的学者开始效仿汤因比的做法治史，尤其是美国史学家威廉·麦克尼尔和L.S. 斯塔夫里阿诺斯（Leften S. Stavrianos，1913—2004），英国史学家约翰·罗伯茨（John Roberts，1928—2003）也写出了一部《世界史》（*History of the World*）。这些史学家认识到，要真正理解最近发生的历史，就有必要追溯地球的发生史甚至久远的过去，并因此更加重视人类所赖以生存的自然环境。而近年来，约翰·罗伯茨的学生，英国纽卡斯尔大学的

史学家鲍勃·莫尔（Bob Moore，1941— ）也成为人类史在英国的先驱之一。20世纪80年代，人类史（在美国通常被称作“世界史”）的观念开始在全球传播。

21世纪初则见证了人类史学术的一部力作，这就是威廉·麦克尼尔和同为史学家的儿子约翰·麦克尼尔（John R. McNeill，1954— ）合著2003年发表的《人类之网》（*The Human Web*）。该书提出了许多新观念，同时纠正了麦氏此前《西方的兴起》（*The Rise of the West*,1963）一书中的不当之处，对此，麦氏本人曾在该书1992年重印版的序言中明确提出。其中最突出的变革是提出以下两点：要系统追溯全球的人类关联，要特别重视人类对生物圈的依赖。这一改进的观念乃源于不断加速的全球化进程的推动和世人日渐高涨的对环境问题的关切。

大多数专业史家对人类史相对漠然，而且只把历史界定为人类有文字以来的历程，这种做法实际上把人类周围万事万物的历史都忽略掉了。其结果是，生命史仅成为生物学家关注的领域，地质学家负责地球史，天文学家和宇宙学家则只管建构宇宙史。在过去50年左右的时间里，只有极少数学者曾试图将上述多种历史整合成统一的历史叙事，并尝试依此界说我们人类以及人类周围的万事万物是如何一步步成为今天这个样子的。

《历史的用途》与“聪明的商人”

《历史的用途》是杰拉尔杜斯·沃西斯（Gerardus Vossius）1632年1月在阿姆斯特丹“雅典学院”（Atheneum Illustre）成立仪式上用拉丁文演讲的题目。阿姆斯特丹市政府成立“雅典学院”实际上是为建立一所大学做幌子，因为中央政府不允许该地建立真正的大学，理由是附近的莱顿已经有了一所大学。所以主办者就给学校起了这么一个名字，并指派两位国际知名的学者杰拉尔杜斯·沃西斯（1577—1649）和卡斯帕·巴洛伊斯（Caspar Barlaeus，1584—1648）为新学校壮名。

此后数日，巴洛伊斯在一次演讲中提出：一个好的商人要聪明睿智并接受良好的教育。此时，两位学者极有可能想要比市议员们想象中的规划走得更远。不过，第一次演讲的内容差不多已被世人完全遗忘，而有关商人要聪明睿智并接受良好教育的说法却在此后数世纪的阿姆斯特丹人中间不断回响，虽然也常见错误引用和胡乱解读的现象发生。后来“雅典学院”终于发展成阿姆斯特丹大学，但

大学仍沿用“雅典学院”的名望及其流传的说辞为自身促销。

这是史学家当记取的一个教训。卡斯帕·巴洛伊斯很聪明，他要讨好有钱的赞助商和富有的市议员（其中大多数是富于创业精神的商人），而且做得很成功，但他所说的话却并未被人完全接受，甚至没有理解。相比之下，杰拉尔杜斯·沃西斯则非常直爽，他也不想讨好任何人。但也有可能正因如此，他所说的有关历史用途的话差不多完全被世人忽视了。所以该记取的教训具体如下：对论题做合理的包装可能比论题本身还重要。

凡试图获得成功者，包括在庞杂的社会网络中求发展的商人，都必须对自身生存其中的世界有清晰的了解。但这种了解往往不是大学教授所能传授或觉得有用的知识。因此，数世纪以来，在出钱接受教育者和知识传授者之间总有一种内在的紧张关系。

因为雅典学院还没有自己的校舍，所以上述两位主持工作的学者就在一间名为阿格涅藤卡贝尔（Agnietenkapel）的小教堂里做演讲。离此不远处是阿姆斯特丹大学历史最悠久的主楼建筑群，名叫欧德曼汇斯波特（Oudemanhuispoort），在该建筑群的院落中，至今还存有这两位教授的雕像，上面长满了青苔，而且每天从这里经过的学生几乎都不会停下来看一眼。正是在这一古老的建筑里，我们于1994年12月首次开设了大历史课程。我一边组织大历史教学，一边却忍不住扫视这两座雕像并假想：这两者之间是否有某种关联呢？

当时，阿姆斯特丹正处于发展的最盛期，而且基本上享受自治的权利，在贸易方面更是在全球范围徜徉无阻。阿姆斯特丹人不光在地理、制图、航海、天文、植物学及其他实用知识方面技高一筹，在历史、哲学、神学及伦理学方面也颇有建树。在所有这些领域，当时一定会有各式各样的紧张不安和热切讨论，但最多的恐怕还是在后一范畴，因为实用知识都可以用实证证据进行检验，而哲学和伦理学则颇为不同。因此毫不奇怪，很多著名的哲学辩论就发生在阿姆斯特丹，发生在雅典学院的门外，其中就包括笛卡儿、斯宾诺莎、洛克等人发起的辩论，这些辩论本质上都颇为保守，其核心大多在当时社会的直接需求。不过即使如此，这种辩驳之间肯定会不时地催生出一种对新的更宽阔的世界观的需求，因为只有这种新的视野才能让商人变得更聪慧、更成功。而正是这种走遍全球的商业遗产才在1994年帮助大历史在阿姆斯特丹找到生存之地。

或问：这种情形是不是更大发展格局的一部分呢？商贸群体，

尤其是处于商贸活动枢纽的金融家，都渴望拥有一种全球视野。因此腓尼基人、犹太人、中国人和其他亚洲人，以及众多类似的其他群体，传统中都特别重视通过学习和讨论实现对整个世界的了解和理解，包括对世界史的认知，这一点儿都不奇怪。这种活动和做法塑造了此类群体的文化观，使其变得高深莫测。

上述社会情境足以提供大历史生长的沃土，但却未必滋生大历史。要大历史能够滋生，这在很大程度上取决于居统治地位的精英是否觉得大历史观念有价值。如果他们觉得不甚有价值，那商人们和金融家会将其留作己用，为自身谋利；但如果统治精英足够聪明并鼓励人们学习大历史，那全世界都会受益，因为只有真正懂得历史，我们才能弄清自己究竟是什么人，万事万物究竟是如何成就其现有的状态，也因此能够对未来做出最明智的规划。

大历史的简要发展历程

因为大历史还没有成为正式的学科，所以似乎还没有人梳理过大历史的历史，或因此开启一个大历史传统。相比之下，所有既成学科都有自己的历史和传统。就像民族国家豪气冲天的爱国史一样，不同学科的历史也是围绕其自身认定的文化英雄展开，而对这些文化英雄赖以成长的社会和生态环境往往着墨不多。次一级的文化英雄通常在教材里提一下也就够了，而那些恶棍，或英雄身上不那么令人艳羡的地方，则必须全力排除在历史叙事之外。这与自然科学里的“进步”观有异曲同工之妙。

记住了这一点，我们就可以进一步考察大历史发展的历史轨迹了。时下，我不敢说我对大历史发展历程中的各色主要人物都有全面的认知；相反，我自身的研究却有一些意想不到的发现。很有可能的情况是，有很多早期的学者曾经书写过大历史，在此却被漏掉了。所以，如同其他学术史一样，我对大历史发展历程的梳理只是依据时间线索的一种印象式扫描，而随着时间的推移在未来会发生变化。

大历史的第一个先驱——也就是我们的第一个文化英雄——无疑当属亚历山大·冯·洪堡。亚历山大·冯·洪堡在当年的声名，当不亚于今日的阿尔伯特·爱因斯坦。洪堡的大部分作品在整个北大西洋学术界被广泛阅读，其对现代科学和文化的影响可谓深远至今。洪堡常被看作是地理学之父（也就很便当地成为该学科的文化英雄），但他实际上对万事万物都怀有极大的兴趣，从不同民族的人到其形态各异的文化再到整个宇宙。这样，他就自然顾不上科学各学科间的界限了——而今的世界却是学科林立、泾渭分明，因为那时学科间还没有竖起层层的壁垒。洪堡的研究在很大程度上属于18—19世纪兴起中的经验科学，而经验科学自然对《圣经》中的神话叙事提出质疑。但对那时的经验科学学者而言，这倒不是什么大的问题，因为其基本观点是：宗教是一种更为超越的推断，本不需要观察得来的证据支撑。[15]

洪堡晚年撰写出了多卷本的《宇宙》（*Kosmos*），试图对现有全部有关自然和人类的知识做一总结。他把自己的思路称作“整体宇宙史”（a cosmical history of the universe）。[16]第一卷于1845年以德文出版。如同他此前的著述一样，《宇宙》也为众多读者广泛阅读并译成多

种语言。令人遗憾的是，洪堡直到去世前也未能完成这一创作计划。不过好在在第一卷，洪堡对自己的想法做了如下小结：[17]

> 本书欲从深邃的太空和最遥远的星云之端开始讲起，由此逐步过渡到繁星闪烁的银河系，其中包括太阳系和我们自身生活于其上的地球及其环绕地球的大气和海洋，其间会谈到外形、温度和磁性张力，还要探讨在各色光影的作用下五花八门的生物如何在地球上涌现繁衍……本书的目的是将地球上的各种现象与太空中的发现整合成一种统一的叙事，虽承认宇宙科学的局限性，但还是要两相对照，把地球的物理史改造成宇宙的物理史。

1825年至1826年，洪堡在蒙托邦侯爵（Marquis de Montauban）位于巴黎的沙龙早已勾勒出其宇宙史的思想。1827年回到柏林以后，洪堡又将这些思想在柏林大学的讲座中详细阐发，共计61次，此后又就此在柏林歌唱学园（Berliner Singakademie）做了16次公开演讲，每次演讲都是听众如云，效果颇佳。[18]洪堡在讲座、演讲和著作中表现出自己的雄心勃勃，他要把宇宙间万物系统地联结起来，从最遥远的星团到人类自身，且凡言必以史佐证。在我个人看来，洪堡是货真价实的第一个大历史学家。不过因为在那个年代，岩石和化石的时代还无法确定，人们把宇宙看作是恒定不变的，所以洪堡的系统分析缺少变化的视角，虽然他也承认宇宙一定已经存在了数百万年。

因为洪堡主张世间万物是彼此联系的，所以他书写人类史要从对自然环境的分析入手。因此在这一方面，洪堡的许多见解至今仍富有现代气息。洪堡所依赖的当然还是19世纪上半叶发展起来的科学知识，我们现在习以为常的重大科学范式那时还没有确立。比如，那时候经查尔斯·达尔文（Charles Darwin，1809—1882）和阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel Wallace，1823—1913）阐发的自然进化论在公共领域还不存在［达尔文的《物种起源》（*On the Origin of Species*）出版时，洪堡已经过世6个月了］。洪堡当然也不可能了解我们所熟悉的粒子物理理论、大爆炸宇宙论和板块构造学说。因此，洪堡对自然和人世的描述缺少必要的理论维度，所以说他的描述还只是对不同方面知识分门别类的概述，并用他所能察觉到的各种链条串联起来。在此过程中，他肯定已经意识到有些特别重要的科学观念还不具备，有可能到将来才能被发现。

从图1.1可以看出，亚历山大·冯·洪堡不是在大学供职。他之所以能

够专心科研和写作是因为继承了一大笔遗产，经济上能够独立。这种独立是许多富有独创精神的思想家共有的一个特点，包括罗伯特·钱伯斯（Robert Chambers）、查尔斯·达尔文、阿尔伯特·爱因斯坦和詹姆斯·洛夫洛克（James Lovelock）。[19]洪堡虽不隶属于某个大学，但他却是正在形成中的北大西洋科学传统的重要组成部分且为之做出了巨大贡献。



图1.1 亚历山大·冯·洪堡（Alexander von Humboldt）在德国柏林奥拉宁堡大街67号自家的图书馆。爱德华·希尔德布兰特（Eduard Hildebrandt）1856年绘，水彩画，多彩石印版（原作系本书作者收藏）

洪堡在撰写《宇宙》一书之前，早已事业有成，甚至大名鼎鼎。他最初接受的训练是要做一名矿井巡视员，后来在18世纪行将结束时有机会和法国探险家艾梅·雅克·亚历山大·邦普朗（Aimé Jacques Alexandre Bonpland，1773—1858）一道在美洲游历考察了5年，其间的经历惊险多姿，同时还做了大量的科学测量。事实上，在他29岁踏上帆船准备从西班牙赶赴新大陆的那一刻，他就想好了自己的主要目标。他在1799年6月5日的一封信中这样写道[20]：

> 我一定要弄清大自然的多种力量是如何彼此相互作用的，以及地理环境因素如何影响植物和动物的习性和分布。换言之，我要弄清大自然是如何实现统一的。

这一席话让当今的科学家听起来一定非常熟悉，但在两百年前，若要廓清大自然的运行原理而不借助于任何超自然的影响，绝对堪称富于革命性的新观念。

那时候，唯一被允许到西属美洲殖民地旅行的是西班牙公民，即使西班牙公民也还受到多种限制。西班牙政府这样做的目的是要牢牢掌控其在美洲的殖民地，因为此时的殖民地已经实现了经济上的自给自足。因此，对大多数欧洲人和北美人来说，西属美洲殖民地几乎是一个完全未知的领地。不过，由于西班牙皇室相当一部分的收入来自美洲的采矿，且皇家的财政一直吃紧，凡有助于发现更多财富的科研还是颇受欢迎的。这样，洪堡才得到皇家的特别恩准赴北美从事科研，只是他自己巧妙地利用了这次机会。同时，这也是洪堡的研究在西欧和东部沿海地区刚刚成立的美利坚联邦激起极大兴趣的原因。洪堡的北美之行之所以能够成行还得益于当时的全球化进程，而且也因此成名，至少是在欧美的学术界。还有一个原因：当时很多地方的政治领导人本身就是出色的科学家，这一点与当今世界颇为不同。

为给自己无所不包的宇宙思路追根溯源，洪堡在《宇宙》一书的第二卷中特别书写了《从物理角度对宇宙的沉思史》一节，这篇异常精彩的概述从最初人类中的有识见者沉思整个宇宙开始讲起，一直到自己生

活的时代。直到今天，这篇文字依然脍炙人口，甚至是同类之中最好的，文中详述世界各地的人们在不同时代如何不断拓宽自己有关万事万物的历史视野，并因生态和文化互动共同朝科学的认知观察和解析迈进。

此外，洪堡特别小心地注明了自己采信的同时代学术资源，其中最有名的是法国博物学家乔治斯——路易斯·雷克勒·布封伯爵（Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon，1707—1788），后者曾撰写人类历史上第一部基于科学的地球史（1780），而且正是后者的整体思想启发了洪堡的创作，虽然洪堡也对布封的某些观点提出挑战，比如布封认为美洲新大陆的物种要逊色一些。洪堡还非常敬佩法国数学家、宇宙学家皮埃尔——西蒙·拉普拉斯（Pierre Simon de Laplace，1749—1827）和英国博物学家查尔斯·莱尔（Charles Lyell，1797—1875），后者是现代地质学的创始人之一。[21]上述背景使我们能够看清洪堡自身所处的学术体系。截至18世纪末19世纪初，这些富有宇宙情怀的启蒙学者，大多是博物学家，已经深信宇宙和地球的历史要比《圣经》上说的要久远得多，而且要理解自然和人类，相信科学比遵循宗教传统可靠得多。

推动上述观念深入人心的最重要的人物要算是（出生在德国的）法国学者保尔·昂利·霍尔巴赫（Paul-Henri Thiry Baron d’ Holbach,1723—1789）。霍尔巴赫曾继承一笔遗产，所以经济上实现了独立。更重要的是，作为无神论思想的领袖，霍尔巴赫曾积极参加法国的启蒙运动，并曾为狄德罗和达朗贝尔著名的《百科全书》（*Encyclopédie*）撰写、翻译过大量相关词条。在他1770年于阿姆斯特丹出版且曾被广泛阅读的名著《自然的体系》（*Système de la nature ou des loix du monde physique et du monde moral*）一书中，他假借让·巴普蒂斯特·德·米拉波（Jean-Baptiste de Mirabaud）的笔名将人类完全置于与大自然的其他部分等同的地位之上，其中包括主要由物质、运动和能量制约（这是相当现代的观点）的宇宙，主旨在否定有关大自然的宗教解析以及有关人类道德的神定说。不过，霍尔巴赫主张：人应有自由追求幸福的权利，而且只要人们以恰切的方式追求幸福，那么和谐的社会将会自动形成。极有可能的是，霍尔巴赫有关人类道德的这一革命主张曾影响了托马斯·杰斐逊（Thomas Jefferson），后者因此将“追求幸福”写入了主要由他起草的著名的1776年《美利坚联合邦大陆会议全体代表大会宣言》（简称美国《独立宣言》）。[22]但由于霍尔巴赫并不曾试图勾勒万事万物的历史，所以不应被视作大历史先驱，虽然他有关人属自然并受自然规律制约的思想为后来大历史的形成做出了很大贡献。

截至霍尔巴赫的时代，欧洲已有少数启蒙哲学家对科学理解自然和

人类社会做出了相当大的贡献，而不须借助超自然力。1664年，法国哲学家勒内·笛卡儿（René Descartes，1596—1650）的著作《世界，或光学论》（*Le Monde, ou, Traité de la lumière*）出版，其中论及天体运行乃自然过程，而非神的干预。1755年，德国哲学家伊曼纽尔·康德（Immanuel Kant，1724—1804）匿名对上述宇宙观给予了深入阐发，其中有关太阳系生成的理论至今仍被世人接受，此外，还提出星云事实上乃银河系外宇宙星岛。康德认同笛卡儿的观点，也认为宇宙星体只有在自然力的作用下才得以成形。不过，康德还认为自然律塑造现实时也有可觉察到的神迹发挥作用，这显然是防范别人控告他是无神论者。1784年，康德提出普世史——我们今天称之为人类史——的概念，其主要依据是自然律，虽然也不乏一丝目的论的味道。根据康德的说法，大自然为人类史规定了某种目的，即“实现普世的公民社会，其法律的实施意在塑造完美的世界公民”[23]。康德虽不曾以某种统一的视角纵论整个历史，但他却可谓大历史的又一位先行者。同样，格奥尔格·威廉·弗里德里希·黑格尔（Georg Wilhelm Friedrich Hegel，1770—1831）在1817年出版的《哲学科学全书纲要》（*Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*）亦可谓大历史的一部先驱之作，因为在本书中，黑格尔试图为包括人类在内的整个大自然找到共同的哲学根基。[24]

第二位大历史先驱，就我个人所知，是苏格兰的出版家兼作家罗伯特·钱伯斯（Robert Chambers，1802—1871）。同亚历山大·冯·洪堡一样，钱伯斯也精通当时的自然科学，当然对苏格兰启蒙运动更是熟稔至深。钱伯斯生活的时代正值工业企业迅速发展，蒸汽印刷机的引入使出版业变得有利可图，钱伯斯正是凭出版印刷赚了大钱。1844年，钱伯斯匿名在位于伦敦的约翰·丘吉尔（John Churchill）出版社出版了其著作《自然创造史的痕迹》（*Vestiges of the Natural History of Creation*，后简称《痕迹》）。与洪堡基本是描述性质的《宇宙》一书不同，钱伯斯的《痕迹》对万事万物的历史做了动态历时的书写，从火雾中宇宙的诞生一直到整个人类的历史。钱伯斯的动态历时书写是他对整体历史的主要贡献。书中提出大量富于挑战性的假设，有些至今仍显得非常现代，颇令人称奇，其中包括：物质是在火雾中生成的；文明是在特定的生态和社会制约下产生的。当然，钱伯斯毕竟受制于自身生活的时代，所以也提出一些颇不科学的观念，比如其有关人类进化的思想就有种族歧视的意味，认为黑种野蛮人处于进化的最初也是最低端，而白种的高加索人则处于历史进化的顶点。[25]

英国史学家詹姆斯·西科德（James Secord，1953— ）曾写过一本

书，专门探讨钱伯斯的《痕迹》及其对当时社会的影响。其中谈到钱伯斯创作该书的动机是倡导一种不同于法国大革命的政治激进主义和福音派基督教的中间路线。[26]目前还不清楚钱伯斯在多大程度上受到洪堡著作的影响，但在英国，钱伯斯的《痕迹》和洪堡的《宇宙》大约是前后脚出版的。但不管怎样，钱伯斯《痕迹》一书的出版在维多利亚时代的英国引起了巨大轰动，因此销路非常好。《痕迹》出版是在莱尔和洪堡著作出版之后，书中提出有关地球史和生命史的时段都大大早于《圣经》中的叙事。因此，我们可以说《痕迹》的出版为达尔文和华莱士后来有关生命进化的著述铺平了道路。[27]《痕迹》一书的作者直到1884年才公之于世。

就我所知，19世纪后半叶没有新的大历史著作出版。相反，此时的学术界很快分化成泾渭分明的不同学科阵营，史学家们也开始对那些把人类置于地球和宇宙演化背景的著述视而不见，并转而集中建构爱国史以及文明发展的历史轨迹。结果，学术界再无大历史生存的余地。不过在自然科学的阵营，大规模叙事的余地还是存在的。19世纪的博物学家们越来越倾向于采纳史学的方法，与此同时，《圣经》叙事在学术界也逐渐失去其字面的可信力。我们不禁会问：此时的学者为何对书写大历史失去兴趣呢？原因之一可能是，由兴邦建国招致的强烈的民族主义情感打消了史学家书写大历史的冲动。但也有另外一种可能，即此时确有学者撰写并出版大历史著作，只不过迄今还没有被发现。

不管怎样，事实是在20世纪，大历史又重新出现了。20世纪的第一位大历史先驱是英国作家韦尔斯，其著作是《世界史纲》（1920）。韦尔斯书写这部无所不包的历史著作的动机是控诉骇人听闻的第一次世界大战及其造成的满目疮痍，他希望借此塑造一种人类的全球认同，认为这样就可以避免类似大战的爆发。[28]因为大多数学者认为宇宙是稳定和无限的，所以韦尔斯便把书写的重点放在了地球史、生命史和人类史上（这是他自己的称呼）。

与此同时，科学的发现不断拓宽了人类的时空视野。在天文学领域，借助美国大企业家资助建设的越来越大、观测距离越来越远的望远镜，科学家们取得了重大发现。摄像术的发明也同样促进了天文学的发展，此时的光学仪器能够捕捉更多的光线，感光板曝光的时间也越来越长。相比过去由人借着昏暗的烛光绘制的图像，现代摄像术也使得图像可以保存更长时间。

因此，1900年前后大多数的天文学家还认定人类是居住在银河系的中心地带，而未过多久，这一图景被宇宙“大爆炸”说彻底颠覆。根据后

一图景，宇宙要比银河系大得多，宇宙“大爆炸”发生于138亿年前，最初只是炙热高密的一个奇点，而在“大爆炸”后不断扩展并由此生成以数十亿计的星系，其中之一是人类居住的太阳系。几乎是突然间，整个宇宙被纳入有时段的历史叙事之中，而且可以用时间轴来标的。我们现在的认识是：人类并非居住在银河系的中心，相反，人类的居住地不过其边远的一个小角落。

20世纪50年代，有关放射性化学元素本质的研究有了加速的进展，地质学家们学会了借助放射性测定年代技术测定岩石和化石的绝对年代。比如，他们发现地球和太阳系是45.7亿年前形成的。而今，科学家们借助更精确的测年方法，能够测定一个单块岩石的整个历史年代，动辄有数百万年之久。多种新的测年方法使科学家们能够重构世间万物的历史年代。大卫·克里斯蒂安称这种新技术带来的新认知为第二次计时革命（第一次计时革命指上述19世纪的科学发展，其结果是世人抛弃了《圣经》中的神话叙事）。[29]

有几位美国天文学家和物理学家也开始独立思考人类在宏大宇宙背景下的地位问题，其中最突出的是哈佛大学天文台台长哈罗·沙普利（Harlow Shapley，1885—1972）和美国国家航空航天局太空计划首席科学家罗伯特·加斯特罗（Robert Jastrow，1925—2008）。他们著书立说并接受电视访谈，到处宣讲其激动人心的新发现。不过，作为自然科学家，他们讲述宇宙背景下的人类史自然存在局限。在法国，从瑞士洛桑大学获得博士学位的盖伊·丁格曼斯（Guy Dingemans）于1958年出版了专著《宇宙的悲剧：大陆的形成与演变、宇宙、生命、物种、种族和人类》（*The Tragedy of the Universe: Formation and Trans for mation of the Continents, the Universe, Life, Species, Races, Mankind*），其旨趣与上述科学家大同小异。沙普利和加斯特罗的著作影响了整个年轻一代的学者，但丁格曼斯同样观点犀利的著作却未曾产生任何影响，至少笔者迄今尚未有任何发现，这与前二者颇为不同。[30]

直到20世纪70年代，才有第一部将重点放在人类史的大历史出现。笔者不明白为什么此类大历史的出现需要世人等待这么久的时间。当然20世纪早期可能有些大历史著述确曾问世，只是还没有被发现而已。[31]而到了20世纪70年代，一方面是阿波罗号登月飞行的巨大影响，一方面受加速的全球化和工业化的推动，世人再次发现有必要从整体的视角审视世间万物。此间我所知的第一部现代大历史著作名为《哥伦比亚大学版世界史》（*The Columbia History of the World*,1972）。该书由哥伦比亚大学多位学者共同编纂，共有1000多页，其中有45页讲述从宇宙诞生到农业兴起的历史。

阿波罗号太空飞行之后不久，当今大多数主要的（库恩意义上的）有关宇宙、太阳系和地球历史的科学范式旋即为主流科学界所接受。这貌似一种巧合，但我认为不是。[32]学界对新范式的接受与通过放射性衰变准确测定岩石年代新技术的引入颇有相关。此外，与此相关，众多新方法的发现以及众多新技术的不断精确化，使得万事万物确切年代的测定最终成为可能，比如树木年轮测年法、基因测年技术、电磁辐射探测等，后一种技术甚至能够探测到宇宙初期形成的电磁辐射。因此，科学家们能够愈来愈精确地建构生命史、地球史、太阳系史甚至宇宙史的叙事。

基于上述众多新的科学发现以及沙普利和加斯特罗的洞见，20世纪70年代末和80年代又涌现出一批富于创新精神和洞察力的自然科学家，比如加拿大裔法国天体物理学家于贝尔·雷弗（Hubert Reeves，1932—），美国哈佛大学的天文学家乔治·菲尔德（George Field，1929— ）和埃里克·蔡森，美国科学家卡尔·萨根（Carl Sagan，1934—1996）——他曾是威廉·麦克尼尔的学生——及其推出的异常受欢迎的《宇宙》电视系列节目，美国明尼苏达大学的地质学家普雷斯顿·克罗德（Preston Cloud，1912—1991）和华盛顿州长青州立大学的德裔天体物理学家G.齐格弗里德·库特（G. Siegfried Kutter，1935— ）等，他们的共同特点是运用上述新知构建新的大综合，其方法是在大学开课和著书立说，以科学为基础诠释万物的历史并同时强调自身学科的特点。因为本身是科学家，所以他们对人类史的关注都颇为有限。

早在1986年，于贝尔·雷弗就曾在其专著《欢乐时光：宇宙有意义吗？》（*L’ heure de s’ enivrer: L’univers a-t-il un sens?*）中描绘出宇宙演化过程中复杂度不断提升的特性，1991年英译版名为《欢乐时光：宇宙演化、秩序与复杂性》（*The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution,Order, and Complexity*）。这本书虽然写得非常出色，但至今没有受到足够的重视，其原因可能是雷弗的目的在于告诫世人如何避免核毁灭，而在该书出版时冷战已结束，上述威胁变成现实的可能性也不大了。

奥地利哲学家埃里克·詹奇（Erich Jantsch，1929—1980）是第一个为大历史创建系统模式的学者，其专著《自组织的宇宙观》（*The self-Organizing Universe*,1980）总结了他发现的许多重要原理。只不过该书出版后不久，詹奇就去世了，这可能是该书并不为学术界所熟知的原因之一。但值得庆幸的是，詹奇的著作在俄罗斯成为一批学者构建自身普世史观的重要启迪，其中包括俄罗斯心理学家阿科普·波科索维奇·拿撒勒钦（Akop Nazaretyan，1948— ）。但万幸中也有不幸：这些俄罗斯

学者大多以俄文发表其著述，所以其成果未能随全球化广泛传播，这一点也是以非英语发表作品的学者的共同命运。在其他国家，如法国、英国、哥伦比亚和秘鲁，也有一大批热情专注且颇有天分的学者在书写大历史。如今，我们完全有理由称：差不多全世界各国都有人在从事大历史研究和写作。[33]威廉·麦克尼尔本人虽从未讲授或探讨过大历史，但他却一直赞同并支持大历史，他的这一认同和支持行动至少可追溯到1991年。[34]

此后不久，这种大型的历史叙事开始聚合成一种新的历史体裁，在澳大利亚、美国和西欧逐渐被称为“大历史”，在天文学家和天体物理学家中间被称为“宇宙演化”（cosmic evolution），在俄罗斯被称作“普世史”（universal history）。

及至20世纪80年代，在学术史家中间至少涌现出两位大历史教育的先驱，他们是：澳大利亚悉尼麦考瑞大学的大卫·克里斯蒂安和美国得克萨斯州达拉斯南卫理公会大学的史学家约翰·米尔斯（John Mears，1938—　），后者同样曾受教于威廉·麦克尼尔。早在1986年，米尔斯就曾勾勒出一门多学科的、由教师团队共同讲授的大历史课程，该文虽鲜为人知，却极富远见。但米尔斯没有得到校方的大力支持，所以课没有真正开起来。后来米尔斯索性自行设计、亲身讲授自己的大历史课程，而大约与此同时，大卫·克里斯蒂安在澳大利亚也独立创制了自己的大历史课程。麦考瑞大学的大历史课程最初是在1989年开设的，其间，天文学家主讲宇宙史，地质学家主讲地球史，生物学家主讲生命史与进化，考古学家和历史学家主讲人类史。这种协同讲授的模式为大历史课程树立了出色的典范，后来在澳大利亚、美国与荷兰开设的大历史课都效仿这一模式。[35]

大历史将人类史融入新的有关万物起源的科学史叙事之中，在不知不觉中改造了中世纪早期的大历史传统，现在的大历史严格依据科学去架构，而不再是宗教神启。转眼之间，原有的起源问题又回到了历史叙事之中，只不过现在的答案不同了。所以说大历史是为旧传统赋予新意，其旧在于囊括全部的历史，其新在于基于科学新知，其叙事的时间轴可缀合人类的全部知识且井然有序。此外，大历史尤其关注自然环境，事实上，这一原本久远的历史传统在大历史中简直毫不费力地得到了恢复，因为大历史要为整个时空追根溯源，所以几乎不可能忽视人类生活这一至关重要的环境要素。

这种新型的整体的历史架构思路和实践在广大学生和教师中间激发起极大的兴趣和热情，而其广泛传播在很大程度上又得益于互联网及电

子邮件的出现和普及。仅就大历史出版而言，总部设在俄罗斯伏尔加格勒的乌琪泰尔（Uchitel）教育出版社可谓功不可没，该出版社由列奥尼德·格里宁（Leonid Grinin）任社长，用英语出版《社会进化与历史》（*Social Evolution & History*）杂志和《进化年鉴》（*Almanac Evolution*）。

2008年，大历史引起了微软公司创始人之一比尔·盖茨的关注。盖茨喜欢一边在家庭健身器上锻炼，一边听些讲座，没想到听了克里斯蒂安的大历史音频讲座他感到极为震撼，声称这是“有史以来最伟大的一门课程”，所有地球人都值得听一听。由于盖茨的私人资助和克里斯蒂安亲率团队几年时间的精诚努力，大历史项目网站最终得以建立，其宗旨是为所有尝试在中学讲授大历史课程的教师免费提供教学素材，其网址是www.bighistoryproject.com。

2010年8月20日，有7位大历史学者在位于意大利科尔迪齐奥柯（Coldigioco）的地质观测站接受为期一周的地质学讲座，其间成立了国际大历史协会（IBHA），讲座由美国地质学家沃尔特·阿尔瓦雷兹（Walter Alvarez，1940— ）及其意大利同人亚历山德罗·蒙特纳利（Alessandro Montanari）召集主持。这7位大历史学者分别是沃尔特·阿尔瓦雷兹，来自澳大利亚的史学家克雷格·本杰明（Craig Benjamin,1954— ），来自美国的大历史学家辛西娅·布朗（1938— ）、大卫·克里斯蒂安和巴里·罗德里格（Barry Rodrigue，1949— ）、美国政治学家洛威尔·古斯塔夫森（Lowell Gustafson，1954— ）和我本人。2011年，国际大历史协会正式注册为一非营利组织，总部在美国密歇根州的伟谷州立大学。2012年，国际大历史协会召开成立以来的第一次大会，共有约200位学者参加。第二届大会于2014年8月在加州的多明尼克大学召开，其时，协会已有共357位会员，而在全球范围共有50所大学开设大历史课程。除了上述的比尔·盖茨以外，大历史还吸引了其他一些有影响的个人和组织机构，其中包括一些中国政治家、世界经济论坛、美国前副总统艾尔·戈尔（Al Gore）、美国喜剧演员斯蒂芬·科尔伯（Stephen Colbert，1964— ）及历史频道2套（History Channel 2），该频道还特别制作了一个大历史系列节目，不只在美国播放，在世界各地都可以观看。

而在位于加州圣拉斐尔的多明尼克大学，大历史更是成了必修课：自2010年起，所有入学新生都必须接受为时一学年的大历史教育，而发起大历史必修课的学者包括美国哲学家菲利普·诺瓦克（Philip Novak，1950— ）、《大历史：从宇宙大爆炸到今天》（*Big History: From the Big Bang to the Present*,2007）一书的作者辛西娅·布朗和美国学者兼多明

尼克大学行政官员莫伊甘·贝赫曼德（Mojgan Behmand，1966— ）。大历史入门课之后，学生还可以选修多个学科教师从大历史视角讲授的其他专业课。因此，多明尼克大学成为全世界范围内第一所要求所有入学新生修习大历史课程的大学。此外，国际大历史协会还在积极探讨大历史的科研问题，首个大历史科研纲要于2011年发布。[36]

大历史的发展令人振奋，而这正是其在全球学术界不断拓展的一部分。大历史是真正意义上正在全球化着的历史，且在步自然科学发展之后尘。另一方面，我们还可以将大历史的发展看作是对19世纪更为包容的全球态度的一种回归，那时候约瑟夫·伍斯特的《古今历史要略》（*Elements of History, Ancient and Modern*）是哈佛学院所有入学新生必考的教科书，而亚历山大·冯·洪堡的《宇宙》也被翻译成多国文字。

小大历史

小大历史是把具体课题置于大历史框架下的研究或问题解答。这种新颖的历史体裁是荷兰大历史学者埃斯特·奎黛克斯（Esther Quaedackers，1980— ）和她的丈夫马塞尔·科宁（Marcel Koonen，1978— ）在2007年发明的，目的是激发学生打破窠臼、放开视野并同时领悟大历史在日常生活中的重要性。

书写大历史，学生要先选择一个自己珍爱的主题，然后追溯其从“大爆炸”至今整个的历史。其间，学生还要学会对不同的过程做比较，比如宇宙涌现的整体过程和自身研究主题诞生过程之间的关系。这种不同寻常的比较往往能够凸显双重过程各自的特点。学生还可以追溯隐喻的不同发展历程，比如不同人群如何将自身的观念加到宇宙的形象之上并因此为天穹和行星起了不同的名字、赋予了不同的形状。事实上，在书写小大历史时，学生们尽可以使用不同的线索作为叙事的链条，前提是链条能够彰显新的大历史视野，做到旧题出新彩。

小大历史在调动学生积极性方面可谓非常成功，全世界也有不少地方和人士在试图应用小大历史的方法呈现大历史，比如比尔·盖茨赞助的大历史项目、美国的历史频道，以及世界各地的大历史课程教学。埃斯特·奎黛克斯本人曾写过一篇很精彩的大历史文字，从大历史视角看北京的天安门。

此外，也有一些学者在独立地撰写自己的长时段历史，比如美

国作家霍华德·布鲁姆（Howard Bloom，1943— ）的《全球大脑：从“大爆炸”至21世纪群体心理的进化》（*Global Brain: The Evolution of Mass Mind from the big Bang to the 21st century*,2000）、出生于新西兰的美国大历史学者乔纳森·马克利（Jonathan Markley，1970— ）极富启发意义的有关“草”的大历史论文（2009）、英国地质学家简·扎拉斯维奇（Jan Zalasiewicz，1954— ）的《从一粒沙石看地球》（*The Planet in a Pebble*,2010）以及美国古生物学家尼尔·舒宾（Neil Shubin，1960— ）的《身体中的宇宙：人体的深度史》（*The Universe Within: The Deep History of the Human Body*,2013）。不过这些作者在书写历史的时候并不觉得这是一种新的历史体裁，可以用来激发学生对大历史的深度理解，而且这些例证都是小大历史发明后笔者才刻意找到的。相比之下，美国历史频道2套2013年秋季播放的系列节目反倒更像小大历史。

无所不包的历史理论？

我在组织大历史教学的过程中摸索出一套万事万物的历史理论，有关内容将在下一章详细阐述。这一理论并不是要解释历史上曾经的万事万物的细节，而是试图通过放宽视野，洞悉可能的整体格局，而这种整体格局若以小的历史视野考证往往就被遮蔽了。这里还需指出，假如读者没有兴趣直接进入有关历史理论的讨论而想先看看这种历史是否新鲜有趣，那么读者完全可以先跳过第二章直接阅读第三章，直到感觉有必要查阅相关的理论阐释，可以再回过头阅读第二章。

但不管读者做如何决定，这里还有一点颇值得指出：其实读者在阅读上述有关19世纪早期大历史兴起的讨论中，可能已经觉察到笔者的历史研究思路，若没有这样的思路，则几乎不可能预见或阐释亚历山大·冯·洪堡的作为。笔者希望上述有关早期大历史先驱生活于其中的社会和生态环境，有关其生逢的机缘和自身局限的讨论还是清楚的，能够说明诸如洪堡之类的学者何以为其所为。这当然只是某种后见之明。

如同大多数甚至所有的大尺度历史叙事一样，大历史倾向于关注那些造成重大变迁或突出的复杂度增高的历史变革，而对复杂度降低的现象则较少系统地关注。当然，在更为均衡的论述中，上述两种情况都应更为系统地讨论。但要是那样的话，本书的篇幅恐怕还要大大增加。因此，作者须谨记本书偏向历史发展不断萌生的新现象，而对那些伴随历史发展变得不再重要甚至完全消失的现象关注不足。

自然科学家们会说，不同于有关人类社会的研究，他们的研究足以精确预测很多自然现象，比如地球围绕太阳运转的轨道的未来状况（实际上并不完全合规律）。对此，我的回答是，之所以如此是因为这些系统相对简单，其运行格局大致有规律可循。自然科学家能够同样准确地预测超新星未来数十亿年可能的爆发、危及包括人类在内的太阳系的生存周期，或者预测轨道尚无法测定的陨石何时会撞击地球吗？对此，我们还心存疑惑。在我个人看来，遇到这种情况，自然科学家们同样会仰赖本书所提出的方法。

后见之明既有优势又存劣势。其优势在于能够让人对不同时段的历史过程有种总括的认识。但后见之明有时使我们陷入某种循环式的论证

之中，比如我们会假定某些事情以某种方式发生是因为当时的条件恰好如此，而与此同时，我们又完全主观地界定什么是适宜的条件，因为恰在此时，上述事情就发生了。笔者在下文的叙事中当力戒此类陷阱，但又充分利用后见之明的优势。无论如何，后见之明是任何历史建构都无法避免的立足点。所以，我们要时刻牢记：后见之明是飘忽不定的当今不可缺少的一部分，因此，后见之明本身也会伴随时间的推移发生变化。

参考文献

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York, The Free Press.

Asimov, Isaac. 1987. Beginnings: The Story of Origins of Mankind, Life, the Earth, the Universe. New York, Berkeley Books.

Aunger, Robert. 2007a. ‘Major transitions in “big” history.’ Technological Forecasting and Social Change 74, 8 (1137–63).

Aunger, Robert. 2007b. ‘A rigorous periodization of “big” history.’ Technological Forecasting and Social Change 74, 8 (1164–78).

Baron d’Holbach, Paul-Henri Thiry. 1770. Système de la nature. Ou des loix du monde physique & du monde moral [published under the pseudonym of Jean Baptiste de Mirabaud]. London [=Amsterdam], no publisher or printer mentioned.

Baron d’Holbach, Paul-Henri Thiry. 2001. The System of Nature or Laws of the Moral and Physical World. Kitchener, Ontario, Canada, Batoche Books (1868). Barraclough, Geoffrey. 1955. History in a Changing World. Oxford, Blackwell. Bloch, Marc. 1984. The Historian’s Craft. Manchester, Manchester University Press (1954, originally in French: 1949). Bloom, Howard. 2000. Global Brain: The Evolution of Mass Mind from the Big Bang to the 21st Century. New York, etc., John Wiley & Sons, Inc.

Boeke, Kees. 1957. Cosmic View: The Universe in 40 Jumps. New York, John Day Company.

Brown, Cynthia Stokes. 2007. Big History: From the Big Bang to the Present. New York, The New Press. Bryson, Bill. 2003. A Short History of Nearly Everything. London, Random House. Carr, E. H. 1968. What is

History? Harmondsworth, Penguin Books (1961). Chaisson, Eric J. 1977. 'The scenario of cosmic evolution.' Harvard Magazine, November–December (21–33). Chaisson, Eric J. 1981. Cosmic Dawn: The Origins of Matter and Life. New York, W. W. Norton & Co. Chaisson, Eric J. 1982. 'The broadest view of the biggest picture: An essay on radiation, matter, life.' Harvard Magazine, January–February (21–5). Chaisson, Eric J. 1987. The Life Era: Cosmic Selection and Conscious Evolution. New.York,Atlantic Monthly Press.

Chaisson, Eric J. 1988. Universe: An Evolutionary Approach to Astronomy. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall.

Chaisson, Eric J. 1998. 'The cosmic environment for the growth of complexity.' Biosystems 46 (13–19).

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Chaisson, Eric J. 2003. 'A unifying concept for astrobiology.' International Journal of Astrobiology 2, 2 (91–101).

Chaisson, Eric J. 2004. 'Complexity: An energetics agenda.' Complexity 9, 3 (14–21).

Chaisson, Eric J. 2006. Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos. New York, Columbia University Press.

Chaisson, Eric J. 2008. 'Long-term global heating from energy usage.' EOS, Transactions of the American Geophysical Union 89, 28 (253–4).

Chaisson, Eric J. 2009. 'The heat to come …' New Scientist issue 2702, 6 April (24–5).

Chambers, Robert. 1994. 'Vestiges of the Natural History of Creation.' In: Secord, James A. (ed.) Vestiges of the Natural History of Creation and Other Evolutionary Writings. Chicago & London, University of Chicago Press (i–390) (1844).

Christian, David. 1991. 'The Case for "Big History." ' Journal of World History 2, 2 (223–8).

Christian, David. 2004. Maps of Time: An Introduction to Big History. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

Christian, David. 2009a. ‘The evolutionary epic and the chronometric revolution.’ In: Genet, Cheryl, Genet, Russell, Swimme, Brian, Palmer, Linda & Gibler, Linda (eds.) The Evolutionary Epic: Science’s Story and Humanity’s Response. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press (91–9).

Christian, David. 2009b. ‘History and science after the chronometric revolution.’ In: Dick, Steven J. & Lupisella, Mark L. (eds.) Cosmos and Culture: Cultural Evolution in a Cosmic Context. Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration, Office of External Relations, History Division (441–62).

Christian, David. 2010. ‘The return of universal history.’ History and Theory 49, December, (6–27).

Christian, David. 2014. ‘Big history.’ In: Curtis, Kenneth R. & Bentley, Jerry H. (eds.) Architects of World History: Researching the Global Past. Oxford, Wiley Blackwell (190–215).

Christian, David, Brown, Cynthia Stokes and Benjamin, Craig. 2013. Big History: Between Nothing and Everything. New York, McGraw-Hill. Cloud, Preston. 1978. Cosmos, Earth and Man: A Short History of the Universe. New Haven & London, Yale University Press. Cloud, Preston. 1988. Oasis in Space: Earth History from the Beginning. New York, W. W. Norton & Co.

Collingwood, R. G. 1993. The Idea of History. Oxford, Clarendon Press (1946).

Comte de Buffon. 1780. Les époques de la nature. Paris, L’imprimerie Royale.

Cosgrove, Denis. 2001. Apollo’s Eye: A Cartographic Genealogy of the Earth in the Western Imagination. Baltimore, Johns Hopkins University Press.

Descartes, René. 1977. Le monde, ou Traité de la lumière. New York, Abaris Books (1664). Diderot, D. & d’Alembert, J. 1751. L’encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences,yp des arts et des métiers, par un société de gens de lettres, 17 volumes. Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand (1751–72).

Dingemans, Guy. 1958. The Tragedy of the Universe: Formation and Transformation of the Continents, the Universe, Life, Species, Races, Mankind. Paris, Librairie Armand Colin.

Drees, Willem B. 1996. Van Niets tot Nu: Een wetenschappelijk scheppingsverhaal.

Kampen, Uitgeverij Kok. Drees, Willem B. 2002. Creation: From Nothing until Now. London, Routledge. Ette, Ottmar & Lubrich, Oliver. 2004. 'Die andere Reise durch das Universum: Nachwort.'

In: Humboldt, Alexander von. Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Ediert und mit ein Nachwort versehen von Ottmar Ette und Oliver Lubrich. Frankfurt am Main, Eichborn Verlag (905–20).

Field, George B., Verschuur, Gerrit L., & Ponnamperuma, Cyril. 1978. Cosmic Evolution: Introduction to Astronomy. Boston, Mass., Houghton Mifflin Company.

Garraty, John A. & Gay, Peter (eds.). 1972. The Columbia History of the World. New York, Harper & Row Publishers. Gehrels, Tom. 2007. Survival through Evolution: From Multiverse to Modern Society. Charleston, S.C., Book Surge Publishing.

Genet, Cheryl, Genet, Russell, Swimme, Brian, Palmer, Linda & Gibler, Linda. 2009. The Evolutionary Epic: Science's Story and Humanity's Response. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press.

Genet, Russell Merle. 2007. Humanity: The Chimpanzees Who Would be Ants. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press.

Getman, Konstantin V., Feigelson, Eric D., Luhman, Kevin L., Sicilia-Aguilar, Aurora, Wang, Junfeng & Garmire, Gordon P. 2009. 'Protoplanetary disk evolution around the triggered star-forming region Cepheus B.' Astrophysical Journal 699 (1454–72).

Gonzalez, Guillermo & Richards, Jay Wesley. 2004. The Privileged Planet: How Our Place in the Cosmos is Designed for Discovery. Washington, D.C., Regnery Publishing, Inc.

Grinin, Leonid, Baker, David, Quaedackers, Esther, and Korotayev, Andrey. 2014. Teaching and Researching Big History: Exploring a New

Scholarly Field. Volgograd, ‘Uchitel’ Publishing House.

Harvey, P. D. A. 1996. Mappa Mundi: The Hereford World Map. London, The British Library & Hereford Cathedral.

Hegel, Georg Wilhelm Friedrich. 2000. Enzyklop.die der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse. Hamburg, Felix Meiner Verlag (1817).

Helferich, Gerard. 2004. Humboldt’s Cosmos: Alexander von Humboldt and the Latin American Journey That Changed the Way We See the World. New York, Gotham Books.

Higden, Ranulphus. 1865. Polychronicon Ranulphi Higden, Monachi Cestrensis, 1. In: Babington, Churchill (ed.) Rerum Britannicarum Medii .vi Scriptores or Chronicles and Memorials of Great Britain and Ireland during the Middle Ages, 41. London, Longman, Roberts, and Green.

Huizinga, Johan. 1995. De taak der cultuurgeschiedenis. Samengesteld, verzorgd en van een nawoord voorzien door W.E. Krul. Groningen, Historische Uitgeverij.

Humboldt, Alexander von. 1845. Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Stuttgart and Augsburg, J. G. Cotta’scher Verlag (1845–62).

Humboldt, Alexander von. 1866. Cosmos: A Sketch of a Physical Description of the Universe, vol. 2. New York, Harper and Brothers.

Humboldt, Alexander von. 1993. Die Kosmos-Vortr.ge 1827/28 in der Berliner Singakademie. Frankfurt am Main and Leipzig, Insel Verlag.

Humboldt, Alexander von. 1995. Personal Narrative of a Journey to the Equinoctial Regions of the New Continent (abridged and translated with an Introduction by Jason Wilson and a Historical Introduction by Malcolm Nicolson). London, Penguin Books (1814–25).

Humboldt, Alexander von. 1997. Cosmos, vol. 1, Foundations of Natural History. Baltimore, Johns Hopkins University Press (1858).

Hume, David. 1757. The Natural History of Religion. London, A. and H. Bradlaugh Bonner.

Hurwitz, Ellen & Ostrowski, Donald. 1983. ‘The many varieties of

historical writing: Caterpillars and butterflies reexamined.' Harvard Ukrainian Studies 7 (296–308).

Jantsch, Erich. 1983. The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution. Oxford & New York, Pergamon Press (1980).

Jastrow, Robert. 1967. Red Giants and White Dwarfs: The Evolution of Stars, Planets and Life. New York, Harper & Row.

Jastrow, Robert. 1977. Until the Sun Dies. New York, W. W. Norton & Co.

Kant, Immanuel. 1755. Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgeb.udes, nach Newtonischen Grunds.tzen abgehandelt. K.nigsberg: Petersen (anonymously published).

Kant, Immanuel. 1963. On History (edited with an Introduction by Lewis White Beck). Indianapolis: Bobbs-Merrill Company, Inc. (Original title: Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht, 1784).

Kitson Clark, G. 1967. The Critical Historian. New York, Basic Books.

Kuhn, Thomas S. 1970. The Structure of Scientific Revolutions, 2nd edn, enlarged. Chicago, University of Chicago Press (1962).

Kutter, G. Siegfried. 1987. The Universe and Life: Origins and Evolution. Boston, Jones & Bartlett Publishers.

Lange, Frits de. 1997. Gevoel voor verhoudingen: God, evolutie en ethiek. Kampen, Uitgeverij Kok.

Lesch, Harald & Zaun, Harald. 2008. Die kürzeste Geschichte allen Lebens: Eine Reportage über 13,7 Milliarden Jahre Werden und Vergehen. München, Piper Verlag.

Lloyd, Christopher. 2008. What on Earth Happened? The Complete Story of the Planet, Life and People from the Big Bang to the Present Day. London, Bloomsbury.

Markley, Jonathan. 2009. 'A child said, 'What is the grass?': Reflections on the big history of the Poaceae.' World History Connected 6, 3.

http://worldhistoryconnected.press. illinois.edu/6.3/markley.html.

May, Brian, Moore, Patrick & Lintott, Chris. 2006. Bang! The Complete History of the Universe. Bristol, Carlton Books.

McNeill, J. R. & McNeill, W. H. 2003. The Human Web: A Bird's-Eye View of World History. New York, W. W. Norton & Co.

McNeill, William H. 1963. The Rise of the West: A History of the Human Community. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1976. Plagues and Peoples. Garden City, New York, Anchor Press.

Doubleday. McNeill, William H. 1986a. 'Organizing concepts for world history.' Review: Fernand Braudel Center 10, 2 (211–29). McNeill, William H. 1986b. Mythistory and Other Essays. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1991. The Rise of the West: A History of the Human Community; with a Retrospective Essay. Chicago & London, University of Chicago Press. McNeill, William H. 1992. The Global Condition: Conquerors, Catastrophes and Community. Princeton, Princeton University Press.

McNeill, William H. 1998. 'History and the scientific worldview.' History and Theory 37, 1 (1–13). McNeill, William H. 2001. 'Passing strange: The convergence of evolutionary science with scientific history.' History and Theory 40, 1 (1–15).

McNeill, William H. 2005. The Pursuit of Truth: A Historian's Memoir. Lexington, Ky., The University of Kentucky Press. Mears, John A. 1986. 'Evolutionary process: An organizing principle for general education.' Journal of General Education 37, 4 (315–25).

Mears, John A. 2009. 'Implications of the evolutionary epic for the study of human history.' In: Genet, Cheryl, Genet, Russell, Swimme, Brian, Palmer, Linda & Gibler, Linda. (eds.) The Evolutionary Epic: Science's Story and Humanity's Response. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press (135–46).

Moore, R. I. 1997. 'World history.' In: Bentley, Michael (ed.)

Companion to Historiography. London, Routledge (941–59).

Morin, Edgar & Kern, Anne Brigitte. 1993. Terre-Patrie. Paris, éditions du Seuil.

Morowitz, Harold J. 2002. The Emergence of Everything: How the World Became Complex. Oxford, Oxford University Press.

Morrison, Philip, Morrison, Phylis & The Office of Charles and Ray Eames. 1994. Powers of Ten: About the Relative Size of Things in the Universe. New York, W. H. Freeman & Co., Scientific American Library.

Nazaretyan, Akop P. 2001. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. (Civilizational crises within the context of big (universal) history). Moscow: Per Se.

Nazaretyan, Akop P. 2004. Civilization Crises within the context of Big (Universal) History: Self-Organization, Psychology, and Futorology (in Russian). Moscow, Mir-Publishers.

Nazaretyan, Akop P. 2010. Evolution of Non-violence: Studies in Big History, Self Organization and Historical Psychology. Saarbrücken, Germany, LAP Lambert Academic Publishing (49–73).

Neprimerov, N. N. 1992. Mirozdanie (The universe). Kazan, Kazan State University.

Nottale, Laurent, Chaline, Jean & Grou, Pierre. 2000. Les arbres de l'evolution: Universe, vie, sociétés. Paris, Hachette.

O'Brien, Patrick. 2008. Global History for Global Citizenship. London School of Economics: Global History and Maritime Asia Working and Discussion Paper Series, Working Paper No. 7.

Ostrowski, Donald. 1989. 'The historian and the virtual past.' The Historian 51, 2 (201–20).

Ostrowski, Donald. 2003. 'Three criteria of historical study.' http://hudce7.harvard. edu/.ostrowski/dawnciv/history.pdf.

Perino, Jean-Marc. 2013. Préhistoire: Du Big Bang aux grands singes and Préhistoire: De Touma. et Lucy à Otzi et Homère, 2 vols. Vic-en-Bigorre, France, MSM éditions.

Poole, Robert. 2008. Earthrise: How Man First Saw the Earth. New Haven & London, Yale University Press.

Potter, Christopher. 2009. You Are Here: A Portable History of the Universe. New York, Harper Collins Primack, Joel R. & Abrams, Nancy Ellen. 2006. The View from the Center of the Universe: Discovering Our Extraordinary Place in the Cosmos. New York, Riverhead Books.

Ranke, Leopold von. 1888. ‘Vorwort.’ Weltgeschichte, Neunter Theil, zweite Abtheilung. Leipzig, Verlag von Dunder & Humblot.

Reeves, Hubert. 1981. Patience dans l’azur: L’évolution cosmique. Paris, éditions du.Seuil.

Reeves, Hubert. 1986. L’heure de s’enivrer: L’univers a-t-il un sens? Paris, éditions du Seuil.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Reeves, Hubert, Rosnay, Jo.l de, Coppens, Yves & Simonnet, Dominique. 1996. La plus belle histoire du monde: Les secrets de nos origins. Paris, éditions du Seuil.

Reeves, Hubert, Rosnay, Jo.l de, Coppens, Yves & Simonnet, Dominique. 1998. Origins: Cosmos, Earth and Mankind. New York, Arcade Publishing.

Roberts, John M. 1976. History of the World. New York, Alfred M. Knopf.

Sachs, Aaron. 2007. The Humboldt Current: Nineteenth-Century Exploration and the Roots of American Environmentalism. Harmondsworth, Penguin Books (2006).

Sagan, Carl. 1980. Cosmos. New York, Random House.

Secord, James A. 2000. Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of ‘Vestiges of the Natural History of Creation.’ Chicago, University of Chicago Press.

Shapley, Harlow. 1959. Of Stars and Men: Human Response to an Expanding Universe. Boston, Beacon Press.

Shapley, Harlow. 1963. The View from a Distant Star: Man’s Future in the Universe.New.York & London, Basic Books.

Shipp, Thomas. 2007. ‘Clash of world views.’ New Scientist issue 2608, 16 June (26).

Shubin, Neil. 2013. The Universe Within: The Deep History of the Human Body. New.York, Vintage Books. Simon, Richard B., Behmand, Mojgan, & Burke, Thomas. 2014. Teaching Big History. Berkeley, University of California Press. Slicher van Bath, Bernard. 1978.

Geschiedenis: theorie en praktijk. Utrecht & Antwerp, Het Spectrum. Smail, Daniel Lord. 2005. ‘In the grip of sacred history.’ American Historical Review 110, 5 (1337–61). Smail, Daniel Lord. 2007. On Deep History and the Brain. Berkeley, University of California Press. Spier, Fred. 1996. The Structure of Big History: From the Big Bang until Today. Amsterdam, Amsterdam University Press. Spier, Fred. 1998. Big History: Was die Geschichte im Innersten zusammenh.lt. Darmstadt, Primus Verlag. Spier, Fred. 1999a. Geschiedenis in het Groot: Een alomvattende visie. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1999b. ‘Стпуктупа Бодьшой Истопии’ (The structure of big history). Общестеенные Науки И Совпеменность (Social sciences today) 5. Moscow, Russian Academy of Sciences (152–63).

Spier, Fred. 2005a. ‘How big history works: Energy flows and the rise and demise of complexity.’ Social Evolution & History 4, 1 (87–135). Moscow, ‘Uchitel’ Publishing House.

Spier, Fred. 2005b. ‘The small history of the Big History course at the University of Amsterdam.’ World History Connected 2, 2. http://worldhistoryconnected.press. uiuc.edu/2.2/spier.html.

Spier, Fred. 2008. ‘Big history: The emergence of a novel interdisciplinary approach.’ Interdisciplinary Science Reviews 33, 2 (141–52). Spier, Fred. 2010. Big History and the Future of Humanity. Oxford, Wiley Blackwell.

Spier, Fred. 2011a. El lugar del hombre en el cosmos: La Gran Historia y el futuro de la humanidad. Barcelona, Editorial Crítica.

Spier, Fred. 2011b. ‘Big history research: A first outline.’ In: Grinin,

Leonid, Korotayev, Andrey V. & Rodrigue, Barry (eds.) Evolution: A Big History Perspective. Volgograd, ‘Uchitel’ Publishing House (26–36).

Spier, Fred. 2013. ‘Pursuing the pursuit of happiness: Delving into the secret minds of the American founding fathers.’ Social Evolution & History 12, 2 (156–82). Moscow, ‘Uchitel’ Publishing House.

Stavrianos, Leften S. 1989. Lifelines from our Past: A New World History. New York, Pantheon Books.

Stavrianos, Leften S. 1995. A Global History: From Prehistory to the Present. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall (1971).

Stern, Fritz (ed.). 1956. The Varieties of History: From Voltaire to the Present. Cleveland.& New York, Meridian Books.

Strahan, David. 2008. ‘The great coal hole.’ New Scientist issue 2639, 19 January (38–41).

Sun Yue (ed.). 2014. ‘Special Big History issue.’ Global History Review 6. Beijing, Global History Center, School of History, Capital Normal University.

Swimme, Brian & Berry, Thomas. 1992. The Universe Story: From the Primordial Flaring Forth to the Ecozoic Era: A Celebration of the Unfolding of the Cosmos. San Francisco, Harper Collins Publishers.

Swimme, Brian Thomas & Tucker, Mary Evelyn. 2011. Journey of the Universe. New Haven and London, Yale University Press.

Tosh, John. 1992. The Pursuit of History: Aims, Methods and New Directions in the Study of Modern History, 2nd edn. London & New York, Longman.

Toynbee, Arnold J. 1934–61. A Study of History, 12 vols. Oxford, Oxford University Press.

Tsujimura, Nobuo. 2014. An Introduction to Big History (in Japanese). Tokyo, Institute for Global and Cosmic Peace.

Vélez, Antonio. 1998. Del big bang al Homo sapiens. Medellín, Colombia, Editorial Universidad de Antioquia. Verburgh, Kris. 2007. Fantastisch! Over het universum in ons hoofd. Antwerp, Houtekiet.

Walls, Laura Dassow. 2009. The Passage to Cosmos: Alexander von Humboldt and the Shaping of America. Chicago & London, University of Chicago Press.

Walsh, William Henry. 1951. An Introduction to Philosophy of History. London, Hutchinson. Wells, H. G. 1930. The Outline of History: Being a Plain History of Life and Mankind. New.York, Garden City Publishing Company (1920).

Wesseling, H. L. 1995. Onder historici: Opstellen over geschiedenis en geschiedschrijving. Amsterdam, Uitgeverij Bert Bakker.

Wolf, Eric R. 1982. Europe and the People without History. Berkeley, University of California Press. Worcester, Joseph E. 1850. Elements of History, Ancient and Modern. Boston, Brown, Taggard & Chase.

Zalasiewicz, Jan. 2010. The Planet in a Pebble: A Journey into Earth’s Deep History. Oxford, Oxford University Press.

推荐阅读书目

Brown, Cynthia Stokes. 2007. Big History: From the Big Bang to the Present. New York, The New Press.

Bryson, Bill. 2003. A Short History of Nearly Everything. London, Random House.

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, MA, Harvard University Press.

Chaisson, Eric J. 2006. Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos. New York, Columbia University Press.

Christian, David. 2004. Maps of Time: An Introduction to Big History. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

McNeill, J. R. & McNeill, W. H. 2003. The Human Web: A Bird’s-Eye View of World History. New York, W. W. Norton & Co.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.049 .

[1] 大卫·克里斯蒂安有英、美、澳三重国籍。有关克里斯蒂安推动大历史的情况，可参阅Christian (1991, 2014)。

[2] 唐纳德·奥斯特洛夫斯基2005年4月15日在“历史世界讨论组”（H-World Discussion Group）发的帖子，属于“历史研究为何很重要”（Why is studying history important?）讨论的一部分，可参阅网站www.h-net.org/.world/。可同时参阅Ostrowski (1989 & 2003)。2007年6月16日，托马斯·希普（Thomas Shipp）在写给科学杂志《新科学家》（New Scientist）的一封信中，也提出了几乎完全一样的问题。

[3] 有关学术界对“我们对历史的全部认知只能来自当下”这一思想的讨论，可参阅Walsh (1951), p. 18; Bloch (1984), pp. 23.. and pp. 48..; Collingwood (1993), pp. 251-252 and p. 364［以上参考文献由鲍勃·莫尔（Bob Moore）热心提供］。同时可参阅Barraclough (1955), p. 23和Wesseling (1995), p. 20。有关奥斯特洛夫斯基更深入的阐发，参阅Hurwitz & Ostrowski (1983) and Ostrowski (1989)。有关历史重建中遇到主要问题的讨论，参阅Barraclough (1955); Bloch (1984); Carr (1968); Kitson Clark (1967); Collingwood (1993); Huizinga (1995); McNeill (1986b); Slicher van Bath (1978); Tosh (1992); Walsh (1951); and Wesseling (1995)。

[4] 这一观点绝非原创。事实上，很多学者包括William McNeill (1986a&b)和David Christian (2004)都曾提出过类似观点。

[5] 其实很不幸，就连这一表述也不是非常准确。人不可能回溯过去，因为过去已经不存在了。有时天文学家还会使用其他一些含混不清的表述，比如说“这一星系距离我们有15亿光年”。我们唯一可以确知的是，该星系今天已经不在那里，也肯定不是我们观察到的那个样子。

[6] Von Humboldt (1997), p. 153, 原文见德文版 (1845), p. 160。

[7] 从一种非常超脱的观点看，原则上我们没有任何理由运用科学原理分析当下的数据而试图构建历史上可能发生事件的轮廓。这就等于说一个人完全可以读圣典然后全盘接受圣典上所说的有关过去的一切字面表述。这虽然不符合当今“科学”的规定，但若完全不在乎科学，这种做法本身又有什么问题呢？我是看不出来。

[8] 印度教中没有所谓起源之说，有的只是无尽的轮回，这与当今某些较大型的宇宙模型有几分相似。

[9] 参阅Christian (2010)。

[10] 比较Moore (1997)。

[11] 文化人类学家特别不喜欢把所谓“识字”（literacy）视为历史的全部。有关这一点，表述得最清晰准确的是美国文化人类学家埃里克·沃尔夫（Eric Wolf，1923—1999）的专著《欧洲与没有历史的人民》（Europe and the People without History, 1982）。

[12] 参阅Smail (2005 & 2007)。厄舍大主教在《世界编年史》（The Annals of the World）一书中曾发布其有关创世年代的计算，其实这是一部从时间之初至公元70年的人类史著作。

[13] Leopold von Ranke: ‘A Fragment from the 1860’s,’ in Stern (1956). 原文见德文版von Ranke (1888), pp. xv-xvi。感谢大卫·克里斯蒂安提示我兰克的这句引语。

[14] Barraclough (1955), pp. 17.. 比如2008年，英国经济史学家帕特里克·奥布赖恩（Patrick O’Brien）曾这样描述20世纪70年代的状况：“四十年前，英国各大学的历史系主要由研究本国历史的学者构成，此外有少部分学者参与一些有关异类世界的本科教学或研究生指导工作，而那时的异类世界其实主要是欧洲大陆和业已去殖民化了的大英帝国。”［(2008), p. 1］

[15] 有关亚历山大·冯·洪堡的生平及其对科学事业影响的比较好的文献计有Ette & Lubrich (2004), Helferich (2004), Sachs (2007), Walls (2009)。

[16] Von Humboldt (1997), p. 340.

[17] 参阅von Humboldt (1995) and Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung (1845至1862年出版), 英文译本为Cosmos (1997)。同时参阅Helferich (2004)。这里的引文见Cosmos (1997), pp. 55-56 and pp. 79-80。

[18] 有关柏林歌唱学院的演讲，参阅von Humboldt (1993)。

[19] 钱伯斯、爱因斯坦和詹姆斯·洛夫洛克不像有些学者那样幸运，仅靠继承下来的遗产就可以轻松度日，不过其收入另有他途，一边做科研，一边就有了收入。

[20] Von Humboldt (1995), p. ix. 其观点深受法国大革命的影响，无论在智识还是在情感方面均如是。

[21] 那时候生物学和地质学还没有分化出来。比如，那时达尔文和莱尔都自称博物学家，而今我们称二人同为地质学家兼生物学家。不过对达尔文和莱尔而言，这两方面有关大自然的研究都是密不可分的。但有趣的是，后来莱尔成了地质学家们的文化英雄，而其生物学家的身份则被大打折扣。换言之，学术专业的分工实际上使这些学者的形象局限且单一化了。当今，我们可能会称他们为跨学科思想家，但这对他们而言却不伦不类，因为当时的学科还没有像今天这样划分得特别清晰。

[22] 参阅Spier (2013)。

[23] 参阅Descartes (1977)和Kant (1755 & 1963)。笔者参阅了不同网址的相关文献，既有原文的，也有英文的。

[24] 有关黑格尔的《哲学科学全书纲要》，参阅www.zeno.org。

[25] Chambers (1994), pp. 306–10. 在Cosmos (1997), pp. 71–2, 洪堡曾提出，要描述事物的外形，则必然要追溯其历史。用他自己的话说就是，“凡物，其外形即其历史”（Their form is their history）。

[26] Secord (2000). 同时参阅西科德为罗伯特·钱伯斯《自然创造史的痕迹》（1994）一书所写的导论。这里是笔者对西科德提到的众多动机的小结。

[27] 查尔斯·达尔文非常熟悉洪堡、莱尔和钱伯斯等人的著述，也曾表示过特别欣赏之情。

[28] Wells (1930), p. vi.

[29] 有关计时革命，参阅Christian (2009a&b)。

[30] Shapley (1959, 1963) and Jastrow (1967, 1977).

[31] 此外，还确有其他一些人试图撰写无所不包的历史概说，比如荷兰中学教师基斯·伯克（Kees Boeke）曾编写一本图画本《宇宙奇观：宇宙的40级跃迁》（Cosmic View: The Universe in 40 Jumps，1957）。这本书后来在20世纪60年代末至70年代成为菲利普和菲利斯·莫里森（Philip and Phylis Morrison）夫妇撰写《十的次方：关于宇宙中事物的相对大小》（Powers of Ten: About the Relative Size of Things in the Universe）一书的基础立论，只是后者更有名，还拍成了电影。这类作品——围绕这一主题有很多变奏——虽不属于大历史（因为书中根本不谈历史），但其作者内心的追求可能与大历史相类似。

[32] Kuhn (1970).

[33] 可参阅以下文献，比利时 : Verburgh (2007); 哥伦比亚 : Vélez (1998); 法国 : Reeves (1981, 1986, 1991), Morin and Kern (1993), Reeves, Rosnay, Coppens & Simonnet (1996 & 1998), Nottale, Chaline & Grou (2000) and Perino (2013); Germany: Lesch & Zaun (2008); 荷兰 : Drees (1996 & 2002), Spier (1996, 1998 & 1999a&b, 2010, 2011a&b) and Lange (1997); 俄罗斯 : Neprimerov (1992) and Nazaretyan (2001, 2004, 2010); 英国 : May, Moore & Lintott (2006), Aunger (2007a&b) and Lloyd (2008); 美国 : Chaisson (1977, 1981, 1987, 1988, 1998, 2001, 2003, 2004, 2006, 2008 & 2009), Field, Verschuur & Ponnamperuma (1978),Mears (1986, 2009), Asimov (1987), Kutter (1987), Swimme & Berry (1992), Adams & Laughlin (1999), Morowitz (2002), Gonzalez & Richards (2004) [这本书试图把大历史与智慧设计论（intelligent design，又称外星神创论）联系起来], Primack & Abrams (2006), Brown (2007), Gehrels (2007), Genet (2007), Genet, Genet, Swimme, Palmer & Gibler (2009), Potter (2009), Swimme & Tucker (2011), Christian, Brown & Benjamin (2013)及Simon, Behmand & Burke (2014)。

[34] 参阅McNeill (1992, 1998 & 2001)。1996年，麦克尼尔在阿姆斯特丹获得伊拉斯谟奖，他非常慷慨地把奖金的一半捐给了我们的大历史项目。

[35] 参阅Mears (1986 & 2009), Christian (1991)。有关阿姆斯特丹大学开设大历史课程的简要历程，可参阅Spier (2005b)。

[36] 有关首个大历史研究纲要，参阅Spier (2011b)。

第二章
总纲

本序言的目的倒不在于强调宇宙物理史有多么重要或多么宏阔，因为时至今日，人们对此几乎都耳熟能详、不存任何异议；本序言的目的是在不损害这一专门研究的稳定性的前提下，证明如何把我们自身的观念凝聚到一个共同的焦点，找到这样一个视角，使所有生物和自然的各种力都能够被纳入一种鲜活的、各个部分都能主动发挥作用的整体，显现其中最主要的一种脉动。……因此，宇宙的物理史绝非那种《自然科学大百科》之类的东西，这样的百科现在已有不少了，虽然这种体裁的题目早已含糊不清，内容也颇多局限。故此，在我们眼前的这部作品中，局部事实一定要放到整体中加以思考，且必须要廓清局部与整体的关系。

——亚历山大·冯·洪堡：《宇宙》（1997）第一卷，第55页；原文见德文版（1845），第38—40页。

引言

正是遵循德国科学大家洪堡150年前勾勒出的学术思路，本章的目的在于为大历史做一总括性的理论说明。一提到要梳理全部历史，肯定会有人觉得这是胆大妄为。故此，本文先清楚交代笔者的目的和对大历史的主张。首先，要梳理历史必先在偶然性与必然性之间达成平衡。有关这一点，古希腊自然哲学家德谟克利特（公元前460—前370）已经交代得很清楚，而离我们比较近一点儿的，法国生物化学家雅克·莫诺（Jacques Monod，1910—1976）的说法几乎如出一辙（且特别提到了德谟克利特）。[1]笔者思路的重点在必然性，即总的趋势。总趋势既造就可能的状况，又对状况有所制约。不过，在总趋势的限界之内总还留有偶然性的余地。虽然笔者在书中决意不对偶然性做系统阐述，但读者却须牢记：偶然性对历史进程确能产生影响。

凡不能充分清楚解释的，人们往往将其归于偶然性在发挥作用。这样的界说实际上把偶然性归到了不让人特别满意的剩余范畴（residual category，或译为残余范畴）。但人们会问：是否存在纯粹的偶然性呢？物理学家会说：统计学意义上的偶然性是大自然的主宰，尤其在量子力学中更是这样；但我个人认为，现实中根本不存在纯粹的偶然性，因为在现实中，凡物必受他物的影响，或直接或间接。换言之，最初的格局或规律性（regularities）一经形成，纯粹的偶然性即告终结。不过格局或规律性本身是多种多样的，其间确实有大量的偶然效应发生，以至于人们只感觉一堆事件发生时的乱象，而不可能将其视作规律在发生作用。从大历史的视角看，我们因此可以认为：伴随时间的推移，复杂性的提升会导致偶然性的相应降低。如果此说不误的话，这可能是大历史中最重要的趋势之一。

尽管在大历史众多的事件中偶然性都发挥了作用，但我们还是觉察到相当多确定无疑的规律和趋势。显然，正是偶然效应的叠加才造就了各式各样的结构化模式。比如，大海里所有分子的碰撞在很大程度上是基于偶然性的，但大海本身却显现出明显的格局，包括洋流、海浪和程度不一的盐分。笔者完全认同此类偶然效应，但首要目标却是解释上述大的格局是如何形成的且呈何种特性。

事物发展过程的细节往往特别繁复，但其整体格局有时却惊人地简

单，尤其是借助自上而下的观察更是如此（“地球升起”图片即一显例）。大历史选择从历史的开端“大爆炸”开始讲起，所以大历史分析必然是自上而下的思路。从“大爆炸”到星系，再到太阳系，最后到地球，这样的做法相对更容易洞察总体的发展格局；而如果采取自下而上的思路，比如先审视当今的人类社会，然后再由此拓宽视野，上述的总体格局就可能很难辨认出来。后一种思路很快就会带来难以承受的压力，因为细节本来就非常复杂，而由此拓宽视野就会导致问题进一步复杂化，哪怕学者有超强大脑也难以分辨和应对。选择从高端开始分析，就相对更容易看清总体格局，而选择自下而上就可能错失对总体格局的认知。

这当然不是说自下而上的方法不重要。事实上，如果我们想要合理可靠地从局部或地方的视角描绘发展的图景，那就非常有必要沉浸到众多细节之中，我在秘鲁安第斯山脉的祖伊特（Zurite）村从事当地宗教和政治研究时对此有深刻体验。但如果我们想要弄清这类具体的事件是如何嵌入更大的历史过程的，就必须同时结合自上而下的理路。这一观点一点儿也不新鲜。亚历山大·冯·洪堡在其1845年发表的大作《宇宙》一书中已有类似的表述。[2]

因为笔者的理论试图对从最微小的粒子到整个宇宙的所有存在做梳理，所以理论本身一定是相当粗线条的，只涵括整个大自然的一般规律，为所有星系、太阳系、人类社会、细菌、分子，甚至最微小的粒子所共同遵守的规律。简言之，这一理论包括“物质”“能量”“熵”（无秩序）和“复杂性”，详见下文。

在讲述历史之前，我们有必要先思考一下下文试图解析的一般规律究竟是什么。首先是一个特别深刻的问题：这种一般规律是否能够被人觉察到。传统有关人类史的叙事大多是把一系列的重要事件按历史的顺序排列起来，本文同样采纳这样一种重大历史过程前后相继的思路，包括农业革命、国家形成、全球化和工业化。在这种大的历史过程中间还有许多较小规模的历史过程，比如殖民地时期的秘鲁曾建立天主教会（我对此曾有深入研究）。

凡历史学家认为重要的事件，自然会在大的历史过程中找到自己的位置。比如，工业革命首先在英国发起，而后传遍整个有人类居住的世界。借助于这种叙事框架，学者们可以颇有收获地研究具体国家的工业化进程，比如韩国。虽然有不少史学家还不大认同这种过程研究的思路，但全部大历史的自然科学叙事，从宇宙进化到地球形成的历史，都遵从过程研究的理路。因此，人类史的过程研究理路与大历史的理路默契至深。

要理解大历史，我们还需清理一下曾经发生的主要历史过程。笔者在《大历史的结构》（1996）一书中曾试图用“体系”（regime）作为核心概念梳理大历史的所有过程。借助这一概念，笔者在书中探讨了大历史中最重要的多个体系，包括体系间的互动。当时我把重点放在了人类史上，因为人类史是托马斯·库恩意义上唯一缺少中心范式的学科。这一思想为当时的大历史提供了一般的架构原则，感觉在当时也算是理论上的一步迈进吧。大约6年以后，我突然想到，体系不但有助于大历史架构，事实上还可以用来解析大历史。

1996年10月，我有幸访问了位于新墨西哥州的圣达菲研究所，该所致力于“复杂适应性系统”（complex adaptive systems）的研究。所谓“复杂适应性系统”，就是能够适应主导环境（prevailing circumstances）的复杂性存在。访问期间，我开始思考“体系”与“复杂适应性系统”之间究竟有什么共性。我觉得所有“复杂适应性系统”都属于某种形式的“体系”。不过由于在大历史中许多体系并不具适应性，包括恒星、星系和黑洞，所以“复杂适应性系统”应被视作宇宙间存在的各种“体系”的一个子集（subset）。因此，可以说大历史中至少有两种“体系”存在，即“复杂适应性系统”和“复杂非适应性系统”（complex nonadaptive systems）。颇有趣味的是，“体系”概念似乎涵括了所有形式的复杂存在。

我个人倾向于使用“体系”而不是“系统”，因为没有一种复杂形式的存在伴随时间的推移会保持完全稳定。这一辨析在社会科学中特别重要，因为社会科学中的所谓“系统”往往有“静态实体”（stati entity）的内涵。[3]因为我们有必要在“两种科学”间架设一道桥梁，所以我们在选定概念时一定要照顾到整个学术界的共同需求。我对“体系”的界定是：体系乃某种程度上的架构过程，其由相互依存的不同组块构成，而每个组块本身又构成一个小规模“体系”，再由更小的相互依存的不同组块构成。经这样界定的“体系”可以有多个不同的层面，每个层面规定了自身的复杂程度。

因此，我所使用的“体系”概念兼具过程结构和过程变化的内涵，只是表述更简捷而已。鉴于现代自然科学文献中有大量不同的体系存在，从天体体系到微粒子体系等颇多差异，我倒希望学术界能够更大程度地接受“体系”这一概念并将其作为学理分析的概念。[4]

简单一句话，大历史是梳理所有尺度上复杂性提升或降低的学科。因此，大历史的探索在于回答为何不同形式的复杂实体得以涌现并繁荣发展，而有时候有些复杂实体却又出现解体的现象。我的观点是，正是

能量在适当条件下在物质中的流动造成了各种复杂实体的兴盛和灭亡。在此，这种说法可能显得过于抽象，所以我希望下面的阐发能够使干瘪的公式变得生机勃勃。要详细理解这一理论，我们先梳理一下“物质”“能量”和“复杂性”等核心概念的科学内涵。

物质和能量

说来有些奇怪，要为貌似非常简单的物质和能量下个满意的定义，其实非常难。比如，埃里克·蔡森这样界定“物质”：“任何占据空间且有质量的存在”，而所谓“质量”为“物质的总量，或某一物体中存有的‘东西’（stuff）”。[5]我个人觉得，这是循环论证。不过，翻一翻物理学教科书，也难以找到清晰一点儿的定义，所以说蔡森不是唯一这样界定的。因此，要为“物质”做个明确的界定很困难，甚至不大可能。至于“能量”的界定也是大同小异。[6]为什么会这样呢？

首先，我认为上述问题的症结恰在界定本身。要界定，肯定不可避免地要用其他概念描述当前概念，而这里所使用的其他概念不能有问题。这样做的时候，实际上暗中假定了有些概念毫无问题。不过，只要稍微深入地考察一下这些所谓毫无问题的概念，就会发现其实也是有问题的。第二个问题是，如果要界定基础的或根本的概念，比如“物质”和“能量”，就找不到更为根本的概念借以描述它们。这就是说基础概念可能永远也找不到让人满意的定义。

其次，如果所有科学概念一样，“物质”和“能量”最初只是在日常生活中使用，后来被用作科学概念，其内涵就被缩小了，首先是有了具体语言的规定，然后还要和数学公式相对应。正是这种方法催生了大量的真知灼见，甚至可以说来自日常生活的经验是科学概念之“无尽宝藏”，小到至微的粒子，大到无穷的宇宙架构。比如，人们对光具有“波”“粒”（无质量）二象性的认识正是上述思路造成的混乱。也可能到了下一个世纪，科学家们会设计出一些更为超然的概念，使我们能够摆脱当下这些无可救药的老旧概念和理论。但我们毕竟活在当下，所以还要凑合着使用当下我们所能有的最确切的概念。

“物质”作为最早的科学概念至少可追溯到公元前4世纪的古希腊，阿布德拉的德谟克利特（Democritus of Abdera）提出：我们在日常生活中所能观察到的一切都是由非常微小也因此不可见的“原子”（atomoi）构成的，原子是不可进一步再分割的最小的物质存在。这些观念在欧洲现代科学兴起之时又重新出现了。

最早使用“能量”的故事与此相类似，也同样久远。古希腊哲学家亚

里士多德在约公元前350年创造出“能量”一词，认为“凡物质存在，皆因有‘能量’（energeia）支撑其自身所具有的功能”。[7]而“能量”出现在现代科学语汇中却只能追溯到19世纪早期，此时正值工业革命时期，工业革命由蒸汽机驱动。因为有商业企业使用蒸汽机赚钱，所以凡能提高机器效率的发明都意味着额外的收入。随着时间的推移，这种观念和体制终于催生出科学的一个分支，如今被称为热力学（thermodynamics），其中“能量”与“熵”（无秩序）开始占据显要地位。同一时期，科学家们开始深入小微粒子领域和可觉察到的大的天体结构方面。少数杰出的科学家如开尔文勋爵（Lord Kelvin）和路德维希·玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann）很快就认识到，这种新的热力学概念同样可应用于整个宇宙的研究。不过，真正成形的热力学应用于生物领域的研究却要等到20世纪70年代。

现在我们回到如何界定“物质”和“能量”的问题。既然现代科学的“物质”和“能量”概念是从日常生活中进化而来，而且考虑到界定此类基础概念本身带来的问题，我建议的“物质”和“能量”定义如下。在此，“物质”是原则上我们人类可触摸到的一切存在，这样一种基于日常生活的界定还是有道理的。触摸同样包括科学测量。比如，我们测量一物的质量通常要借助他物的质量，通常还辅以某种尺度。当然，我们还不能触摸人力之外的世界的物质，包括宇宙中存在的大多数物质。对于我们还触及不到的那些物质的存在，我们是借助这些物质发出的光或这些物质作用于其他发光物体而产生的效应推断出来的。

在大历史中，光发挥着重要作用。我们用肉眼观察到的光事实上只占整个波段的很小一部分，科学家们称之为“电磁辐射”（electromagnetic radiation）。在本书中，一般使用“光”一词的时候，实际指的是电磁辐射。根据自然科学的说法，光具有波粒二象性，而此时所谓的“粒”不具质量（且不管这究竟是什么意思）。因为据说光没有质量，所以光不属于物质。不过光的效应，比如对我们人类的肉眼或其他光探测器，却是非常明显的。我们观测光只能通过光与物质的相互作用及此后我们与该物质之间的相互作用。假如宇宙中不存在物质，那我们就不可能探测到光。由于光作用于物质的效应，我们能够推断出遥远物体的质量，比如行星、恒星甚至整个银河系。具体做法是通过望远镜上的探测器捕捉并测量从遥远物体上发出的光。由此得到的整体图景是依据既有的科学原理对观察到的现象解析所得。科学家们正是通过这一方法对人类尚不能直接触及的大量物质进行估算的。

在当前的科学思想体系中，光被认为是一种形式的能量。“能量”存在的形式有多种，包括动能和核束缚能（nuclear binding energy），能

量共有的特征是人类能够通过其作用于物质的效应而探测到它的存在。光作用于探测器的原理与此一致，其经历的过程也与此相同，正如同两辆飞驶的汽车迎面相撞，本质上是两团物质在猛烈撞击中将动能改造成不同性状的物质。而仔细观察和反思能量作用于物质的效应，学者们由此得出了一个深刻见解，即能量且只有能量才能造成物质的改变。因此，我们这样定义“能量”是不无道理的：“能量”即能够改变物质属性的一种存在，包括使物质变得更复杂或更简单。

复杂性

如前所述，大历史要处理的问题是复杂性涌现及复杂性降低的问题。最初的时候，复杂性几乎为零。伴随宇宙演化，有些部分变得更为复杂，最突出的现象是星系形成了。但经历了一个暴风雷霆的开端之后，宇宙的大部分实际变得非常空旷，因此其复杂度并不高。而时至今日，在经历了大约140亿年的演化之后，人类俨然成了全部已知宇宙中最复杂的生物有机体。

但不幸的是，迄今人们就“复杂性”概念尚未达成一致的意见。[8]因此，迄今也尚不存在普遍认同的确定不同层次复杂性的方法。称某些物质比其他物质更复杂，这当然是有道理的。比如，有什么人会坚持认为细菌（bacterium）比人还要复杂呢？或主张质子比铀核更复杂呢？人们通常说系统（我本人更喜欢使用“体系”）在整体大于其组成部分之和时要更复杂些。[9]这一观念是德国格式塔心理学的奠基者克里斯蒂安·冯·厄棱费尔（Christian von Ehrenfels）和马克斯·韦特海默（Max Wertheimer）于19世纪90年代创造的。在现代复杂性科学中，这种复杂程度上的差异是通过突变特征（emergent properties）得到阐述的：某一层次复杂存在的特征不可能在低一层次的复杂存在中产生。比如生命体就具有这样的特征，因为生命特征不可能出现在构成生命体的分子身上。法国社会学之父奥古斯特·孔德（August Comte，1798—1857）及紧随其后的德国社会学家诺伯特·埃利亚斯（Norbert Elias，1897—1990）均曾以相对自主性（relative autonomy）概念诠释上述特征，一句话：不能将高层次的复杂存在简单还原成低层次的存在。[10]

因为不存在普遍认同的“复杂性”定义，所以我在这里历数一下复杂性的主要特征，以期问题得到解决。首先是既有的组块问题。组块越多，其组成的架构就越复杂。同理，组块的种类越多，也有助于构架复杂度的提升，因为构架的组块多了，其自身显然也就有条件更复杂一些。复杂度层次的提升还取决于组块间的连接和彼此间的互动，连接互动的数量和样式更多，组成的物体也就越复杂。因此，从整体看，一个体系由更多、形态各异的组块以更多种多样的形式实现连接互动，该体系也就会变得更复杂。

在不同层次的复杂实体中，可以发现不同种类的组块。一般物体的

组块为质子、中子和电子。这些基本粒子以不同形式组合成化学元素，而化学元素又是更高层次复杂实体的组块。化学元素可以组成分子，分子是更高层次复杂实体的组块。这些不同的组块共同构成恒星、行星和黑洞，后者组成星系，星系又进一步组成星系群（galaxy clusters）。化学元素组成分子，众多分子又进而组成更复杂的细胞，细胞再组合成个体生物，个体生物组合成社会。所有这些不同层次的复杂实体彼此之间都有某种程度的相对独立性，简单地说，就是某一层次复杂实体显现出的突变特征不可能以低一层次复杂实体的特征做出充分解释。

复杂性还有一个非常重要的维度，即组块的序列。比如，数字计算机的信息只有两个组块构成，即1和0，但通过1和0的大量变化组合，人却能制造出相当程度的复杂性。显然，组块构成的序列不同，就可以产出不同层次的复杂性，序列稍做变化，整个复杂性就会被破坏掉。组块的序列，还有信息，对生命体和文化体特别重要。在生命体中，基因信息是在脱氧核糖核酸（DNA）分子的长链中实现组织的，其中组块的序列至关重要，因为序列决定着细胞内发生的一切。同理，序列对文化信息和文化交流而言也特别重要。

其实无生命的大自然也同样表现出某种形式的序列，因此亦可谓携带着自身的信息。比如，沉积岩往往呈现出多个层次，每个层次包含化石的种类也各不相同，科学家们正是以此为线索对遥远的过去做出解释的。不过这类物质与基因或文化信息有很大不同。沉积岩和化石对体系的整体运作并无作用可言，它们只是在那里存在而已；而储存在基因分子和文化库存中的信息，比如书籍和计算机硬盘驱动器，却对隶属的个体发生某种作用。

比较不同形式的复杂实体，一定要考虑到单位（千克）质量的复杂度。要不然的话，人们就会觉得几千克重的石头——仅仅因为其块头大，因此其组成的原子数量也必然要多——就一定比体积很小的微生物还要复杂。可一旦比较石头与微生物的单位质量的话，就会发现小小的微生物突然变得复杂了许多，这主要是因为后者组块的种类和连接的程度都要大得多。

这种以组块、连接和序列界定复杂性的做法从原则上说就可以确定整体在多大程度上大于其组成部分之和，不过在实践中却很难实现。我们究竟该评估哪（些）方面呢？又该使用什么方程呢？究竟哪（些）方面的权重更高一些呢？是组块的种类，连接的不同方式，还是更持久、更繁复的序列呢？至少现在，我还找不到任何可行的方法对上述三个方面做综合评估并准确计算出不同层次的复杂度。如果可能的话，那么哪

怕只在一阶条件（first-order approach）下实现上述目标也足以构成一个完整的研究课题。而即使实现了这一点，我们就能由此精确认定某个特定层次复杂实体的突变特征吗？因此，就目前而言，我们只好依靠质化的手段来评估已知宇宙中不同层次的复杂存在，这至少比主观评说要好一些。虽然这样做不甚令人满意，但据我所知，这却是既有的最好的方法了。[11]

“秩序”与“复杂性”概念的内涵并不完全相同。比如，氯化钠（普通食盐）的晶体就非常规则、秩序井然，因为其中带正电荷的钠离子和带负电荷的氯离子都是交替有序地排列的。但我们却不认为氯化钠晶体特别复杂，因为其组块并不多，组块之间相互作用的方式也非常有限。我更倾向于使用“更复杂”来描述生物有机体，因为后者由多种不同的分子组成，分子之间互动的方式更是多种多样。因此，“无秩序”的反面有两种：一种非常有秩序但并不甚复杂；另一种由多种化合物的结构组成且化合物之间有互动。

更复杂形式的实体从不会无中生有地突然涌现出来，而总要从复杂度更低的实体发展而来。比如，人类社会是从灵长类动物群体中涌现的，而后者则是从更为简单的生命形式进化而来。这只是一般规律的一个例证。涌现或演进的过程通常非常漫长，相比之下，复杂度高的实体的解体却非常迅速，甚至不须经过中间阶段。比如，人死了要火化，一下子就回到了无机物的阶段。

在我们生活的地球，人类不损毁现存的实体就不可能创造出新的复杂实体。在自由空灵的太空中间，我们人类根本不可能有一套可以随意支配的新的组块。相反，我们所能有的只是周围已有的各种形式的复杂实体，且所能做的是对其进行重塑。因此，我们一方面创造新形式的复杂实体，而另一方面却要不断损毁旧的实体。而且还有一点不能忘记，就是人类有时在损毁其他形式的复杂实体的同时，却并未创造出新形式的复杂实体。

下面我们简要地从质的角度看一下大历史中所分辨出的各种形式的复杂存在。根据众多学者的研究，复杂实体主要有三种：无生命的物质即大自然、生命和文化。从物质的角度而言，无生命的自然是迄今人类所知宇宙间存在量最大的复杂实体。以下实例可让人领悟其规模存在的意义。为简单起见，我们假定整个地球的重量大约与一辆美国轿车一般重，约为一吨，那么地球上全部生命的重量加起来应不超过17微克。后者大约相当于轿车掉下来一小块儿油漆的重量。继续这样的类比：整个太阳系的重量大致相当于一艘超级油轮。不过由于银河系的重量尚不为

人知，所以我们的类比只能到此为止。但即使银河系内甚至整个宇宙之中充盈着大量生命实体，就如同在太阳系中一样，那么其相对质量也不应超过超级油轮上掉下来的一小块儿油漆。

宇宙中的无生命物质实体也表现出不同程度的复杂性，从单个的原子到整个银河系。无生命物质实体的组织完全遵从大自然的基本规律。无生命复杂实体的结构可能非常精妙，但其运行不须仰仗任何信息。换言之，无生命的物质世界没有所谓的信息中心存在并决定该世界如何运行。因此，那种认为太阳系有所谓自身的蓝图并决定地球或太阳系如何运行的想法是不对的，因为这样的蓝图根本不存在。

下一个层次的复杂存在是生命实体。如上所述，仅从相对质量而言，生命体是一种相当边缘的现象，但生命体的复杂程度却是任何无生命的物质实体都无法企及的。与无生命的复杂实体不同，生命体要维持自身的存续就必须借助某种特殊的机制不断从外界获取物质和能量。生命体一旦停止从外界获取物质和能量就会死亡，其机体会解体成较低层次的复杂存在。为保持自身较高水平的复杂度，生命体往往借助储存在DNA分子内的遗传信息。因此，为弄清生命体的运行机制，就很有必要搞清楚配置生命组建的信息中心何在，信息中心如何运作，把生命信息转化成生物机理的控制系统的工作原理以及上述机制在塑造生命过程中的局限性。

第三层次的复杂实体是指文化：储存在神经和大脑细胞内的文化信息，或人类各种形式的记录、处理和交流。具有这种能力的物种中最发达的自然是人类。就整体质量而言，现有人类累加起来的总重量大约是地球上全部生物重量的0.005%。如果全部生命重量相加仅及车船上掉下来的一小块儿油漆，那么全部人类的总重量也就不过掉落油漆上的几个细菌而已。然而人类通过集体的力量，迄今已学会控制地球上全部生物中相当大的一个部分，大约在25%至40%之间。换言之，由于人类有文化，这几个油漆碎片上的细菌已经控制了油漆碎片相当大的部分。因此，要弄清人类社会的运行机制，仅研究人的脱氧核糖核酸、分子机制及其对外界的影响就不够了，还须同时研究人类借以塑造自我的文化信息，以及除了人之外的大自然。

与基因不同，文化信息的组块无法明晰准确地加以界定，文化复杂性也因而变得难以严格界定。文化概念不但更为灵活、更富于变化，还需人本身对其加以解读。一方面，活体细胞内的基因信息须准确无误地加以解读才能保证细胞体的正常运行，而另一方面，在人类社会却鲜有此类明确无误的解读机制，甚至根本没有。[12]但不管怎样，文化信息还

是使得包括人类在内的动物能够成功应对求生的斗争。

我们已知最高层次的复杂存在，即生命体与文化，很可能是一种边缘现象，因为这种现象首先特别稀少，其次物质聚合度高，此外只在较大体系的边缘发现。我们所知的生命体只在行星的表层出现，而这样的行星也只出现在银河系的边缘处。行星上的物质大多是在人类的脚下，而不是环绕着人类。而在太阳系，大多数的物质浓缩在太阳本身而不会超过地球环绕太阳公转的轨道。类似的描述同样适用于太阳系在整个银河系中的地位。不过，诚如埃里克·蔡森观察到的那样，这一规律却不适用于生命体中的复杂度分配。生物复杂度最高的部分，主要是脱氧核糖核酸和大脑，只在某些高度受保护的区域存在，而不是在体系的边缘。这种高复杂度的存在之所以要受保护，是因为生命体要避免从外界进入的物质和能流过大，过大了就会导致生命体的解体。显然，生命体为保护自身的高复杂度为自己制造了一身太空服。事实上，地球上的生命体可能已经成功地将整个生物圈改造成了自己的太空服。这在我个人看来，正是詹姆斯·洛夫洛克的盖娅假说实质所在，本书第五章对此有详述，简而言之就是：地球上的生命体已进化出某种反馈机制，能够使生物圈的整体运作有利于自身的存续。

在宇宙的进化史上，所有这些形式的物理、生物和文化复杂存在都是彼此独立地涌现出来的。从科学的视角看，所谓某种超自然力可能介入复杂存在的生成是不能成立的，因为人类从未见证过此类超自然力的运作。这里的主要问题是：宇宙究竟是如何组织自我演化的呢？我们在日常生活中的所见往往与此正好相反，即常见复杂的存在解体为无序的存在，这使得回答上述问题变得更为艰难。比如，孩子们弄脏了的房间从来就不会自己变得干净，而城市若没有清扫垃圾的体系很快就会被淹没在自身制造出的垃圾之中了。这种趋势被称作热力学第二定律，即在一个封闭的系统中，随着时间的推移，其间存在的无秩序性，或称为熵，只能不断提升。换言之，宇宙的演化也只能是混乱程度不断加剧的历史。因此，某个局部出现复杂度的提升则必然伴随着其他地方出现混乱度的加剧。有鉴于此，复杂存在究竟是如何涌现的呢？

热力学第二定律

19世纪蒸汽机越来越广泛的使用让很多人开始讨论：蒸汽机的效率究竟能够提高到什么程度？地下储藏的煤究竟有多少可以转化成可控的圆周运动以启动机器？沿着这一方向的探索最终导致人类

对自然界有了更为根本的认识，这一认识现在被称作热力学，即“有关热的力学”。

热力学第一定律指出，在一个封闭的系统中，能量既不可能被创造，也不可能被消灭（核反应属例外，因为通过核反应可以把物质转化成能量）。能量虽然不可能被消灭，但却可能从更有用的形式转化成相对无用的形式。比如烧煤驱动蒸汽机时就是这样，其间化学能被转化成动能（运动）和热能，后者被排放到宇宙之中。

然而再把热能完全转化成煤却是不可能的。这一深刻洞见最终造就了热力学第二定律，即在一个封闭的系统中，混乱度无可避免地会趋于上升。这就意味着高价值的能源可以变成较低价值的能源，而不可能是相反。

其结果就是，一地复杂度的提升必然以他地混乱度提升作为代价。奥地利科学家路德维希·玻尔兹曼（1844—1906）解释说，这是因为物质和能量都有向统计学上最有可能出现的状况分散的趋势。比方说，要一个房间中所有的空气分子瞬间都聚拢到一个小的角落是不大可能的，相反，空气分子更容易均匀分布在整个房间，除非有某种能流——比如加热系统——的介入使空气分子在房间中打转。但在没有能流介入的情况下，空气分子就会非常均匀地分布，因为这是它们最有可能的分布。这一点借助数学可以得到清晰的展示。玻尔兹曼在这一方面的创新研究现在被称作统计热力学。

这就提出了一个最为根本的问题：为什么宇宙间的物质没有终结于其最后可能的状态，即那种令人感觉乏味的均匀态呢？加拿大裔法国天体物理学家于贝尔·雷弗在其《欢乐时光：宇宙演化、秩序与复杂性》一书第90页以后用相当的篇幅说明，之所以如此是因为宇宙并非一个封闭的稳定系统，正相反，宇宙从一开始就迅速地向外膨胀。结果，物质在涌现之际根本没有足够的时间和条件趋向稳平衡态。假如宇宙的膨胀从一开始就没有那么迅速，那么物质很有可能早已转化成了黑洞或铁，即宇宙中最稳定的化学元素，当然这取决于具体的情况如何。要真是这样的话，那么我们已知的多种复杂存在都不可能成形。但现实的宇宙膨胀非常迅速，这种假想的状况——即大量复杂实体的组块凝结在时空中——根本不可能发生。所以，我们上述的各种组块得以彼此聚散离合，形成各个层次的复杂实体。不过还是那句话，一地复杂度的提升必以宇宙他地混乱度的提升为代价。

能流与复杂性的涌现

要理解复杂性的兴起和消亡，就有必要明确区分复杂性的最初涌现、存续的时间段和最终的消亡。根据现代科学的认知，任何形式的复杂实体要出现，都必须有能量从物质中流过。比如生命体的诞生就需要持续不断的能流，恒星、行星和星系要形成也需要能流，以下各章对此有详述。

复杂实体一经形成，接下来就要看它在本性上是否需要能量才能维系。有些无生命的复杂实体处于很接近热力学平衡的状态，就是说在现有条件下很少会发生自发的变化。比如，抛向天空的石头便不需能流就能在很长一段时间内保持自身的形状，除非有外来事件干扰到它。星系和黑洞也是一样。不过即使这些结构相对简单的存在物也不能说与宇宙其他部分发生的变化毫无干系。因此，这种简单的存在物也会受到来自外界能量的影响而发生变化，比如宇宙辐射、与其他天体的碰撞或自身原子经历极长时间后的衰变。而且由于这种简单的存在物缺少能流以阻抗上述趋势，所以它们的命运是最终走向溃败，在经历长时间后失去自身所有的复杂性。[13]

无生命的大自然中更为复杂一点儿的实体——其中最突出的是恒星和行星——常常不能接近热力学平衡，其之所以能够存续是因为有某种能流存在，正是能流使其保持着自身的形状。我们称这类实体处于一种动态稳定状态（dynamic steady state）。确切地说，恒星和行星总在不断地变化，但其形状在相当长的时间内大致保持稳定。比如，恒星只要能够通过核聚变（其间氢被转化成氦）释放能量，就一定会发光。相比之下，如今的地球远没有恒星那么活跃，且其复杂性分为几个层次（由地壳、地幔和地核组成），这样的格局是地球最初形成时能流作用的结果，而这一能流现在大部分都消失了。今日地球表层富于生机的复杂性由两个因素决定，一是来自内部核裂变释放的热能，二是来自太阳的光能。

同是诺贝尔奖得主的奥地利科学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger，1887—1961）与俄裔比利时籍科学家伊利亚·普里高津（Ilya Prigogine，1917—2003）都认为，所有形式的生命体都远离热力学平衡。与无生命的自然界相比，所有形式的生命体都必须持续不断地

从外界获取物质和能量。比如，人必须频繁地进食、进水并呼吸才能维系人本身的复杂性，而一旦停止了上述活动，人的复杂性很快就瓦解了。人体摄入的能量有许多用途：维持新陈代谢，使人有能力做计划、四下移动，等等。在此过程中，人体摄入的能量从高质能转化成低质能。人体也因此不断向外界排放热能（一种低质能）。这是人类保持自身复杂性并摆脱求生必然产生的身心失调或内部混乱（熵）的方法之一。如果人无力发散这种多余的热能，那么人很快就会因内部的热量而窒息。另一种排放熵的主要办法是顺天应人的大小便。这一特征不仅仅为人类所共有，也是所有生物不可或缺的共性。

总之，人类、地球和太阳都必须有能流流过自身并同时制造出熵才能维持自身的继续存在。1999年，加拿大能源专家瓦克莱夫·斯米尔（1943— ）这样论述道：

> 能量是宇宙间唯一的硬通货：其形式多样，且一种形式必须要转化成另一种形式才能驱动恒星发光、行星周转、草木生长和文明进化。认识到这一点是19世纪科学的最大成就之一，但令人惊讶的是，这一洞见却尚未引发全面系统的研究，即以能量为棱镜审视我们整个的世界。[14]

能流流过物质，其自身必然从一种高产出状态进入低产出状态。之所以如此，是因为某一物吸收了部分能量并从而变得更复杂。比如，生命体形成并产出许多分子，比如伴随着添加能量的过程。可一旦这种更复杂的存在物解体，能量又会被释放出去，虽然此时的后者总呈现低质能形式。若想有新的复杂实体出现，就必然吸收一定的能量，这可谓一条普遍规律。我们可将其视为上述普遍规律的一种细化，即能流流过物质是复杂实体出现的必然要求。

能流流过物质，其自身总是从高质能变成低质能。比如，我们摄入的食物比排泄出的废物相对维持我们自身的复杂性而言显然更有价值。而且显然，有些形式的能比其他形式的能更具产出或维持复杂性的力量。在热力学中，我们把能量改变物质的能力表述为“自由能”（free energy）。由于本书只试图陈述大历史新的总纲，所以书中并未系统考察能流过物质会发生哪些变化的问题，而只考虑一般意义上的能量输入。在更细化的分析中，当然非常有必要考察能流过物质时发生的各种变化。

我们能否测量并计算出能流过物质具体的量值呢？2001年，埃里克·蔡森在其富于开创性的专著《宇宙演化：大自然中复杂性的兴起》（*Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*）中就试图用“自由能率密度”（free energy rate density）的概念实现这一目标。自由能率密度被标记为Φm，指单位时间内通过某一特定量物质的能流量。比如，就人体而言，其自由能率密度即某一时间段，比如说在24小时内，人体摄入能的总量除以人体本身的重量。原则上说，蔡森的原理使我们能够计算出任何业已存在过的复杂实体的自由能率密度，小到最微小的粒子，大到星系群。我们还可以在此基础上对各种形式复杂存在的自由能率密度进行系统比较。只可惜“自由能率密度”的概念总显得庞大笨重，与物理学家们常用的“功率密度”（power density）概念颇有雷同，甚至蔡森本人在书中也曾指出这一点。从2009年起，蔡森本人也开始使用“功率密度”而不再使用“自由能率密度”，所以本书也遵从“功率密度”的概念。[15]

此后，蔡森发现，在我们直觉的已知宇宙中多种层次的复杂实体与计算出的功率密度之间有明显的对应关系。也许令人吃惊，人类在大历史的视野中与宇宙中的其他万物相比虽然小得可怜，但人类却制造出已知宇宙中最高级别的功率密度。[16]表2.1是蔡森发现的一个小结。[17]

表**2.1**一些实体的功率密度

通称结构	大致年代（10^9年）	平均Φm值（10^{-4}瓦/千克）
星系（银河系）	12	0.5
恒星（太阳）	10	2
行星（地球）	5	75
植物（生物圈）	3	900
动物（人体）	10^{-2}	20,000
大脑（人头盖骨）	10^{-3}	150,000
社会（现代文化）	0	500,000

（此表格已得到复制授权）

对很多人来说，这一结果与直觉不符。比如，人们自然会以为太阳的功率密度远高于人类大脑的功率密度。但事实是，太阳释放出的能量虽远高于人类大脑所使用的能量，但人类大脑的功率密度却远远高于前者，因为大脑的体积比起太阳来要小得多。一般说来，生命体的功率密度远高于无生命物质。所以说，千万不要小看这些微小的生命体系，其制造出的功率密度要比无生命物质大多了。

要更好地理解表中的数字，我们有必要稍微详细地介绍一下蔡森的计算方法。[18]我们先谈星系的功率密度。很多人觉得星系不过是恒星的各种聚合体。要真是那样的话，星系的功率密度就简单了，只要将个体恒星的功率密度相加，然后再除以恒星的个数就行了。不过蔡森对星系

（事实上即我们的银河系）计算的结果要小得多。我们的银河系中相当大的一部分物质是气体和尘埃，除此之外，还有所谓暗物质（dark matter）被计算在整体质量的项下，所以银河系的功率密度很小。但很不幸的是，我们迄今还不知道暗物质是否真的存在，本书第三章对此有详述。此外，据说银河系的中央部分还有一个质量极大的黑洞，其中的物质密度极高，但复杂度却不高，甚至不存在。因为气体、尘埃、黑洞和暗物质并不释放任何能量但却构成银河系质量很大的部分，所以其结果是降低了银河系的功率密度，也正因此比恒星的功率密度还要低。实际上，蔡森表中恒星的值是以太阳为基准计算的，因为太阳是一颗普通的恒星。

恒星是靠自身释放出的巨大能量运行的，但星系的架构却不是恒星决定的。我们的银河系由为数众多的恒星组成，呈旋转的星云状并有长长的巨臂伸展开来。最初造成这一星体构架的巨大的能流在蔡森的计算中没有体现，其原因是星系构架的形成发生在很久以前，而现在星系的运行已不再需要加入能量。但这种状况也可能发生变化。一旦星系彼此之间发生碰撞，就会产生巨大的动能，而动能会重塑星系的构架。据预测，我们的银河系和其最近的邻居仙女星系（又称仙女座大星云）会在未来20亿至50亿年之间发生碰撞。而且，星系之间也会发生变化，包括星际气团收缩和恒星爆炸，其释放的能量都会改变星系的结构。不过从长远看，这种能流及其效应与全部恒星释放的能量相比可能微乎其微，所以在一阶的星系功率密度估算中就可以忽略不计。

蔡森对星系功率密度的估算只考虑相对稳定的星系体系，而不是迅速形成或解体中的星系。事实上，蔡森的估算都是动态稳态体系的功率密度。换言之，诸体系最初生成时所需的能流不在蔡森功率密度计算的范围之内。

下面谈蔡森对行星功率密度的计算。实际上，这里的行星功率密度值并不能反映任何一颗已知行星的功率密度。蔡森的计算只考虑到地球外端薄薄一层地壳的状况，地球表层在一段时间内接受来自太阳的能量做分子，大气层质量再加上30米洋深的水体质量做分母。据蔡森称，这是行星地球上大部分复杂实体最集中的地方。因为来自地球深层的地热能仅及来自太阳的辐射能的数千分之一，所以蔡森的计算也未计入地热能。

蔡森表格的下一栏是多种植物功率密度的均值，其中包括各种生命体，而有关动物功率密度的计算则是基于人体使用能的情况。这里功率密度的计算方法是估算单位体重所消耗的食物摄入量。蔡森也承认，在

实际操作中脊椎动物的功率密度往往差距非常大，甚至达到10倍。[19]这就提出了一个问题：那些功率密度极大的脊椎动物（即鸟类）是否该被视作最复杂的存在物呢？

蔡森对人类社会（现代文化）功率密度的估算是基于当今时代60亿人消耗能量的情况，人均体重为50公斤（成人加儿童）。[20]在此，最大多数的能量不是流经全部人类的身体；果真是这样的话，那整个人类就会立即消亡。这使得将功率密度作为衡量人类社会复杂度的标尺不那么令人信服，所以本书决意不采取这种算法凸显技术发达的人类社会的主要特征。为此，本书特别采纳了“人均能源使用量”（energy use per capita）的概念。

蔡森为人类史提供的功率密度值问题更大。荷兰环境学家卢卡斯·赖金德斯（Lucas Reijnders，1946— ）指出，早期人类由于学会了使用火，其能量消耗可能非常大，包括用火开荒、创造宜居的复杂生活方式并毁掉其他形式的复杂实体，通常是破坏草场、烧毁林木。人们还学会了生火做饭，同时火还能够帮人取暖、驱赶捕食的野兽。比如1997年，这种生活方式使澳大利亚原住民的人均能源使用量甚至比普通美国公民还高一到两个数量级。[21]这不禁使人怀疑：按照蔡森的计算方法，早期人类可以放火烧荒的地面显然比澳大利亚或其他什么地方的原住民还要大，那早期人类的功率密度该有多大呢？如果按照蔡森的做法把功率密度作为衡量复杂度的唯一手段，那么显然澳大利亚原住民要比现代工业社会更复杂。这一点实在不能让我感到满意。[22]

当今时代，人类使用能量的大部分并非只为了维持身体的运转或放火烧荒，而是用在了我称之为“人为形式复杂实体”（forms of artificial complexity）的创造和毁灭上面。“人为形式复杂实体”指人类创造出的一切复杂实物，包括衣物、工具、房舍、机械及通信工具等。借助这些物品，人类改造了周围的自然环境甚至自身。准确地说，不仅仅是人类，还有许多动物也会制造出多种形式的复杂实物，比较有名的例证有蜘蛛结网、海狸造坝等。人为的复杂实体不同于自然涌现的复杂实体，最突出的就在于动物在创造实物之初就有目的和意图，而且人为的复杂实体也不可能自发涌现。因此说人为的复杂实体属于一种新颖的复杂物范畴，也有着自身特有的性征。

人为的复杂实体可分为两个主要的子范畴。子范畴一指制成品不再需要能流即可发挥其功用，子范畴二则指那些还需能流的制成品。前者可称为“被动人为复杂实体”，包括衣服、房舍和道路等。不只是人，还有许多动物，都会制造这种复杂实体。后者可称为“驱动型人为复杂实

体”，因为复杂实体制成后还需不断添加能源才能保证其发挥功用。后一类复杂实体包括由风能、水能及化石能源驱动的各种机械。据我所知，只有人类才具备制造后一种由外来能源驱动的复杂实体的能力。从这个意义上说，人是已知宇宙中非常独特的一种存在物。

有多种形式的驱动型人为复杂实体已经显现出超越人大脑（约15瓦/千克）或人类社会（约50瓦/千克）的功率密度。蔡森曾指出，喷气发动机的功率密度甚至可以达到2,000瓦/千克（波音747）或80,000瓦/千克（夜鹰F-117）。[23]相对高功率密度的复杂制成品不光包括喷气发动机，还有许多家用电器也是这样。我和儿子路易曾在家里计算过，哪怕是简单的吸尘器，其功率密度也能达到180瓦/千克，足足超过人脑的十几倍。但这并不意味着喷气发动机和吸尘器比人的大脑还要复杂。与自发涌现的复杂实体不同，有多种人为制造的复杂实体消耗能源并非为了自己变得更复杂，相反，其设计之初就是为了消耗能源以完成某些特殊的任务，比如空载负重或为人类的生存空间赋予某种秩序等。

在复杂尺度的低端也存在不少问题。许多简单形式的复杂实体，从氢原子到在空中飞行的石块，并不需要能流就可以维持自身的存在。因此，这些复杂实体的功率密度为零，虽然其复杂程度颇有差异。在这种情况下，使用功率密度作为其复杂程度的标尺显然效果也不是很好。准确地说，某些能也会流过这些实体，当然这取决于实体在宇宙中的位置，比如靠近恒星。但与恒星和生命体不同，这些实体本不需要能量就可以维持自身简单的复杂存在。这使得将功率密度作为衡量复杂性的尺度问题更多了。

不过，蔡森的分析作为一阶条件方法还是很有道理的，虽然仔细考察还存在不少问题。用美国物理学家莫里·盖尔曼（Murray Gell-Mann，1929— ）的话说，蔡森提供了“粗略看整体”的一个思路，而这在自然科学中是完全成立的。[24]蔡森本人对此非常清楚。他是这样表述的：

> 第二点说明（第一点是要警惕人类中心主义的危险）关乎计算分析时的细节层次；说实话，这里避开了某些实难纠缠的细节。尤其值得指出的是，这一点在开始计算之初就曾指出过，此处的Φm值只取总体能流，即少数有代表性系统的总体可用能量。也正因此，这里重能量的数量或密度而轻能量的质量或效用。显然，更为详尽的分析要将诸如温度、类型和能源供给的变量甚至接受系统使用自由能的效率都考虑进去。因为毕竟某些波段的能量输入比其他波段的输入会更有效或更糟糕，这取决于系统的地位如何，接收器

> 是否有效，以及系统与环境的关系等。同理，能量使用的效率在不同系统中，甚至在同一系统中的不同部位，也会表现出相当的差异。比如在生物条件下，只有部分输入的能量才能真正做功，从技术角度说，也只有这一部分的能量属于真正的自由能。要详细探讨这一部分的自由能如何使系统的某些部分而不是其他部分更受益，那就要等着我撰写下一部更为详尽的大部头作品。在这本小书中，我们只采取粗略估计的形式以展现一般的或总的趋势；下一步的工作才是更完整（可能应该说是更“复杂”）的研究，才会论及开放系统是如何利用自由能以提升自身的复杂度的，以及其利用自由能的效率如何。
>
> 甚至要确定流入开放系统的能的绝对量也非要详尽的分析不可。因为并不是随意什么能流就会起作用的，有时能流过小或过大都无助于系统变得更复杂。能流过小就意味着系统可能保持或接近保持平衡态，出现热沉积；而能流过大就会迫使系统在有极高热源的情况下趋近平衡态，也就是说会损毁系统，甚至造成系统的崩溃。……只有持续不断且有规律地向系统输入能流才能保证系统适度或高效运行。这就像浇花的时候水量一定要适度，否则就把花浇涝了。换言之，火焰、焊枪和炸弹等自然和人造的装置，因为其Φm值太大了，所以在此没有太大用处。[25]

上述引文再次提醒我们：蔡森上表中的功率密度值只是有关相对稳定物质体系中的能流，而不是某些具体形式的复杂实体是如何涌现或衰亡的。

在蔡森的思路中，这些数字首先可以度量不同复杂实体的层次，这也是他独有的解决精准界定和准确测量的方法。与此同时，蔡森还用这些数字标明不同层次的复杂实体究竟需要多少能量才能维持自身的复杂水平。本书将采纳蔡森的后一思路。在以后各章，笔者明确不再将功率密度概念作为衡量不同层次复杂实体的唯一尺度，而使用此概念只是为了标明不同层次复杂实体要维持自身存在所需的能量规模。

埃里克·蔡森有关功率密度更多的计算结果

> 埃里克·蔡森在2011年发表的两篇文章中对将功率密度作为衡量复杂实体尺度的做法做了更为详尽的阐述。他首先检视了太阳在

未来的运动轨迹，本书第三章对此有详述。太阳在50亿年后将不再以氢做燃料，而转到燃烧氦气，太阳系的整体温度也会因之增高，待氦气耗尽，又会继续燃烧更重一些的化学元素，比如同时期形成的氮、碳、氧。这种依次燃烧更重的化学元素的过程会造成更重的化学元素，其结果是太阳的能产出更高，而太阳本身的质量则会降低。因此，太阳的功率密度会提升至目前值的50多倍，这与其核心部位复杂性不断提升的趋势倒非常吻合。

功率密度提高与实体复杂度不断提升相呼应的现象在植物进化的过程中也有发现。蓝藻（又叫蓝绿藻）是一种出现最早也特别简单的植物，至少在30亿年前即已问世，其功率密度仅为900×10^{-4}瓦/千克。相比之下，诸如松、杉等常绿树有3.5亿年的历史，功率密度在5,500×10^{-4}瓦/千克左右。更现代一点儿也因此更为复杂的落叶树（有1.25亿年的历史）的功率密度为7,200×10^{-4}瓦/千克，而离我们最近的驯化了的禾本科植物，如小麦、玉米和甘蔗等，其历史只有0.3亿年，而功率密度却达到了每千克13,500×10^{-4}瓦至22,500×10^{-4}瓦之间。

动物的进化也有同样的趋势。冷血动物如鱼类和爬行动物类靠外界的热能维持其体温，功率密度在4,000×10^{-4}瓦/千克左右，其最初问世是在大约5亿年前。更复杂一些的恒温动物大约是在2亿年前出现的，能够借助摄入的能量维持体温，故其功率密度达到40,000×10^{-4}瓦/千克，而鸟类（1.25亿年前出现）则能在三维空间实现导航，所以还要复杂一些，所以其功率密度达到90,000×10^{-4}瓦/千克左右。不过这些值都是动物安静状态下测得的，上下偏差的幅度可能在10倍左右。更具体的数值还取决于动物如何谋生及其栖居的生态区域。比如，生活在寒冷水域的动物往往比居住在沙漠中的动物功率密度要大一些。此外还有其他一些变量也会影响到动物的功率密度，比如体态大小、其日常活动的本质和持续时间等。因此，这里的数值只是大致的均值。

人类伴随历史的进化也增加了自身的能使用量，人类建构的各种器物也是越来越复杂，这些都会影响人类的功率密度值并使自身的复杂度提升。电子计算机可谓标志上述趋势的一个新近实例。

不过蔡森计算人类社会功率密度的做法还是有些问题的，即用人类控制能的总量除以全体人类相加的总重量。因为幸运的是，人类控制能量的大部分都不是直接从人体内流过，而是从人类创造的器物中流过。根据蔡森的计算，喷气发动机比人的大脑还要复杂，

这让人不能接受。但除了有关人类社会和人为复杂实体的计算数值之外，蔡森的思路令人信服地澄清了大自然中不断提升的复杂性与功率密度趋于提高之间的对应关系。围绕这一主题展开更为深入的研究自然是探讨复杂性提升问题的一个重要组成部分。

金凤花原理

埃里克·蔡森虽注意到但却未能系统阐发的问题是：复杂实体只有在适宜的条件下才能涌现。这里的条件包括：首先，合适的组块及能流；其次，合适的温度、压力和辐射等众多外在因素。如果条件不适宜，复杂性就不会涌现，或很快消亡。复杂实体消亡的原因通常在于能流出了问题，对某种具体的复杂实体而言，能流过高或过低都会导致实体的消亡。复杂实体的毁灭通常是由于能流或能量水平过高或过低。比如，如果人这类生物组织长期处于10摄氏度以下或40摄氏度以上的环境而得不到有效保护，那么人就会死去。显然，人类只能在一定温度带宽的条件下才能够生存，而且诸如此类的带宽限制不只适用于所有生物，还包括岩石、行星和恒星。换言之，所有相对稳定的体系都有自己适合的特定条件要求，符合条件要求才可能涌现并持续存在下去。这里借用一个盎格鲁——撒克逊的童话故事，将上述适宜条件的要求称之为金凤花原理（Goldilocks Principle）。

可能有些读者不熟悉金凤花与三只熊的故事。金凤花（Goldilocks）是个小女孩，有一天她在森林里玩儿迷了路，误入了三只熊的家。恰好小熊和他的父母都不在家。小姑娘又累又饿，就想喝放在吧台上的三碗粥。但大碗中的粥太烫了，中碗中的粥又太凉，只有小碗中的粥正可口。然后她又试着在椅子上坐下，但最大的椅子太硬了，中号的椅子又太软，只有最小的椅子正合适。如此这般直到三只熊回到家。三只熊见状很不高兴，于是金凤花就逃跑了。[26]

笔者并非第一个使用“金凤花原理”这一概念的。最近20年，早有科学家开始用这个概念借指各种复杂实体涌现并持续存在必须具备的限制条件。在自然科学家看来，金凤花原理是显而易见的，也许这是因为他们从来都是这样从限制条件入手分析问题的。不过令笔者惊讶的是，迄今还没有人从大历史的角度对这一原理进行系统阐述。[27]

金凤花原理特别强调，复杂实体要存在，就必须具备相应的适宜条件。这里要特别指出的是，适宜条件常不同于复杂实体涌现及其持续存在所需的条件。比如，适宜最小粒子涌现的金凤花条件只在宇宙史最初的几分钟之内才具备，对此下一章有详述。显然，这种限制条件是非常严苛的。而在此后数十亿年的时间里，金凤花条件转而更适合微小粒子

的持续存在，是从星系到人类等各种复杂实体不可或缺的构成材料。本书对应用金凤花原理的大量实例都有讨论。

金凤花条件并不是独立存在的，而取决于具体复杂实体的类型。比如，人类一定要在适宜的温度带宽条件下才能生存，但此外，人类还有一些直接的需求，包括适宜的气压、氧气、食物和水。相比之下，恒星的金凤花条件则非常不同。恒星需要大量密实的氢元素，其周围必须是寒冷、空旷的空间。由于重力作用，这种巨大的主要由氢和氦组成的球体在其内部制造了极大的压力，以至启动了核聚变，把氢元素转化成更重（也因此更复杂）的氦核并同时以辐射的形式释放大量的能。恒星的金凤花条件在地球上很难复制，这也说明了核聚变未能成为地球人可行发电手段的缘由。总之，所有金凤花条件都有自己具体的带宽。在自然科学中，标的带宽上下限的条件被称为边界条件（boundary conditions）。

与其他任何动物相比，人类为自身创造的适宜生存的金凤花条件都要多得多。而且人类的金凤花条件兼具社会和物质特征。物质方面，包括衣服、房舍、多种多样的工具和道路等；社会方面，只要看一眼交通法规便可见一斑。交通法规界定人应该如何行为才能使所有人能够相对便捷地到达各自的目的地，且同时保持所有社会成员的复杂度。虽然有社会成员不遵守交通法规且更快捷地到达了自己的目的地，但他（她）自己或他人的安全却因此受到了威胁。

海鸟粪如何改变了世界：能量、物质与金凤花条件示例

在19世纪，有大量的海鸟粪（guano）被当作肥料从南美太平洋沿岸岛屿运到西欧，使后者的农业产量（包括土豆）大幅提高，有了土豆，就能养活大批的产业工人。威廉·麦克尼尔认为，海鸟粪引进到欧洲不但使欧洲各国的农产品产量有了大幅提高，而且使欧洲变得异常强大。但南美太平洋沿岸岛屿为什么有大量的海鸟粪呢？海鸟粪的输入还有没有其他效果呢？

秘鲁和智利的太平洋沿岸是板块构造过程中较重的纳斯卡（Nazca）大洋板块伸入较轻的南美大陆板块所致，造成地面隆起并最终形成南美安第斯山脉（Cordillera de los Andes）。冰冷的洪堡洋流从南极洲一路向北，海水携带着大量的养分，所以这里的鱼

特别多，海鸟也特别喜欢在此捕鱼谋生。海鸟还喜欢在大洋沿岸的岛屿上筑巢，这样来自内陆的捕食者也无法靠近它们。因为岛屿的空间本来有限，这些长翅膀的捕食者及其排泄的鸟粪就常年在那里累积。鸟粪没有被雨水冲走是因为冰冷的洪堡洋流使这一地区几乎常年处于干旱状态。因此，这种富含无机化学元素对植物生长特别有利的粪便在这里沉积下来，先是鱼，后有鸟，后又有鸟粪，在岛上风干、形成厚厚的积层，有些地方竟有50米厚。

在印加帝国时期，人们就已认识到海鸟粪作为肥料的价值。1802年，亚历山大·冯·洪堡在南美殖民地秘鲁亲眼看见了海鸟粪给农业生产带来的益处，于是建议欧洲各国也进口海鸟粪，促进当地的农业生产。洪堡的宣传引发了大规模的从南美秘鲁沿岸等岛屿向欧洲输送海鸟粪的运动，而且效果良好，同时南美各地的社会精英也从中受益。伴随海鸟粪向旧大陆的输入，多个品种的土豆也被带到了欧洲各国，只不过同时还带来了土豆疫病，致使爱尔兰在1845年至1849年间发生了土豆大饥荒，而大饥荒导致大批爱尔兰人移民美国。

事实上，一切社会规则都可以被解读为人类创造的金凤花条件，目的正在于维持某种形式的复杂存在。

金凤花条件随空间和时间的变化而有所不同。笔者将这种层级的变化称为“金凤花梯阶”（Goldilocks gradients）。这一概念最初提出来是要回答一个问题：为什么行星地球的表面特别适合更为复杂的实体涌现呢？或者说：为什么人类生活在行星地球的表面，而不是在地壳下面？对此我的回答是：行星地球表层的金凤花条件在相对较小的空间里呈现出明显不同，其金凤花梯阶较陡。这样的条件使得生命体能够获取大量能量并同时摆脱大量的熵。有关这一点后面各章还有更详细的讨论。这里仅交代一句也就够了：生物学家把这种不同生态区域间呈现的较陡的金凤花梯阶称为“交错区”（ecotomes），而且对此已有深入细致的研究。

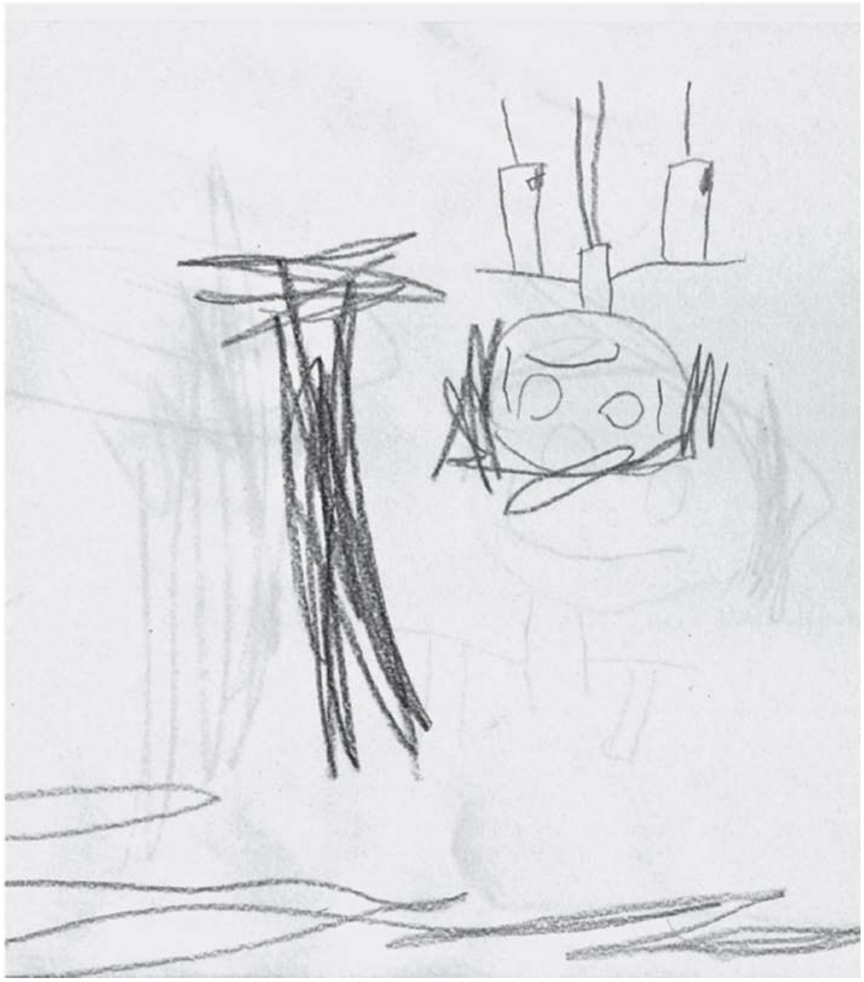


图2.1 金凤花从树上坠下，她显然超越了自身的极限，不久她原有的复杂性将因引力能（gravitationalenergy）的影响而归于损毁。（朱莉娅·斯皮尔2007年绘，时年4岁）

金凤花条件不但在空间上，而且在时间上也呈现出梯阶差异，只有全面把握才能更好地理解不同复杂实体得以形成的缘由。地球上的气候带从热带到北极的梯度分布可以被看作是金凤花梯阶在空间上的表现，而不同气候带内部的气候变化就相当于金凤花梯阶在时间上的变迁。气候带的梯阶变迁大致呈现出某种规律，主要是由地球围绕太阳有规律地运转造成的，也就是所谓的“米兰科维奇循环”（Milanković cycles）。本书第四章对此有详述。这里只说一句：气候带的梯阶变迁对地球上各种生命体的影响至深，前提当然是我们能够探测到这种影响。

总之，要真正认识任一复杂实体形成和消亡的原因，我们不只要考察能流过物质的机理，还必须系统研究其主要的金凤花条件。我个人认为，“能流过物质”的机理再加上金凤花原理构成万物历史——包括人类史——理论的基本雏形。我们当然不能指望该理论能够解释任何事物发

展的所有细节，但这一理论却足以廓清大历史中的主要趋势并提供相应解释。

因为笔者选择了一种新的、尚无人问津的路径，所以本书应被视为建构连贯的大历史理论框架的一种努力，希望这一理论能够启发读者的讨论并有助于改进读者对世界的认识。这一理论倡导全面的跨学科研究，若真的付诸实践的话，那么从天文学家到历史学家和人类学家在内众多学科的学者就可以进行空前的合作并使用同一种科学的语言。这听上去好像更多理想色彩，但实际上，这一跨学科的事业已经开启。[28]

这里提出的一般历史理论事实上与板块构造学说（plate tectonics）颇多相通之处，就是说二者都是先提出一般原理，都需要具体情境的细节来支撑。就板块构造学说而言，地幔对流（一般原理）造就了诸如地中海地区之类的具体情境，系非洲板块挤压欧亚板块所致，对此既有理论又有实据的支撑。同理，在大历史一般理论中，我们提出了能流过物质及金凤花条件说作为一般原理，接下来就要考察一般原理在具体情境下的运作。余下各章将依此思路对大历史的原理和情境做一概述。

显而易见，在一本书里不可能对历史上发生的所有事件做详细讨论，因此，本书余下各章的讨论只能是提纲挈领式的简单概述。当然，历史叙事在多大程度上要有血有肉甚至声情并茂绝不只是大历史才会遇到的问题，但凡历史概述都只是历史事实的一个精简版，因为史学家根本不可能掌握全部细节，哪怕是自身研究课题的全部细节。即使有了细节，搭建历史叙事时仍不免适当剪裁，有的收录，有的就省掉了。不过尽管如此，我还是希望这里检索出的大历史总趋势能够包容大部分历史细节，如果还不是所有细节的话。细节依然是检验笔者大历史理论的主要依据。不幸的是，即使在科学共同体中，围绕众多历史问题仍存在不少争议，哪怕是已经确立的科学理论，尤其是宇宙学理论，也还不足以解释所有已观察到的现象。因此，在具体的历史中总难免要做这样那样的选择和取舍。所以有时候我在自己的历史叙事中也陈述一些彼此对立的观点，因为毕竟要厘清所有的争议至少现在还是不大可能的。

不过尽管有上述警示，我还是要正告读者：笔者的大历史理论的确提供了一种新颖的、整合式的历史诠释框架，在不同领域和学科日渐分离的时代努力把它们重新拉回到一起，并同时以此呈现给读者一个整体的历史轮廓。虽然我们不可能解释全部历史事实，但我想说：与此相反的观点——即根本不可能从一般的观点解释历史过程——也是不成立的。我们面对的挑战，是要在人根本无力理解历史和人可以不具任何偶然性的规律诠释历史这两种立场之间寻到某种中间的立场。

笔者的大历史理论关乎复杂实体的涌现、持续存在及其复杂度无可避免的式微，并对其各种表现予以描述。其框架是前后贯通的，涵括万事万物在时空中的演进，这正说明了我们为何一定要在宇宙演化的大框架下理解人类史。

参考文献

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York, The Free Press.

Barrow, John D. & Tipler, Frank J. 1986. The Anthropic Cosmological Principle. Oxford, Oxford University Press.

Broda, E. 1975. The Evolution of Bioenergetic Processes. Oxford & New York, Pergamon Press.

Broda, E. 1978. The Evolution of Bioenergetic Processes: Revised Reprint. Oxford & New York, Pergamon Press. Chaisson, Eric J. 1987. The Life Era: Cosmic Selection and Conscious Evolution. New.York, Atlantic Monthly Press.

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Chaisson, Eric J. 2008. ‘Long-term global heating from energy usage.’ EOS, Transactions of the American Geophysical Union 89, 28 (253–4).

Chaisson, Eric J. 2009. ‘The heat to come …’ New Scientist issue 2702, 6 April (24–5).

Chaisson, Eric J. 2011a. ‘Energy rate density as a complexity metric and evolutionary driver.’ Complexity, 16 (27–40); DOI: 10.1002/cplx. 20323.

Chaisson, Eric J. 2011b. ‘Energy rate density II: probing further a new complexity metric.’ Complexity 17 (44–63); DOI: 10.1002/cplx. 20373.

Comte, Auguste. 2011. Cours de philosophie positive (1/6) [Format Kindle]. www. Amazon.fr (1830–42).

Davies, Paul. 2006. The Goldilocks Enigma. London, Allen Lane.

Dawkins, Richard. 1989. The Selfish Gene. Oxford, Oxford University Press (1976).

Elias, Norbert. 1978. What is Sociology? London, Hutchinson.

Gell-Mann, Murray. 1994. The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex. New York, W. H. Freeman & Co.

Genet, Russell Merle. 2007. Humanity: The Chimpanzees Who Would be Ants. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press.

Goudsblom, Johan. 1992. Fire and Civilization. London, Allen Lane.

Humboldt, Alexander von. 1845. Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Stuttgart and Augsburg, J. G. Cotta’scher Verlag (1845–62).

Humboldt, Alexander von. 1997. Cosmos, vol. 1, Foundations of Natural History. Baltimore, Johns Hopkins University Press (1858).

Jantsch, Erich. 1983. The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution. Oxford & New York, Pergamon Press (1980).

Kauffman, Stuart A. 1993. The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. New York & Oxford, Oxford University Press.

Kauffman, Stuart A. 1995. At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity. London, Viking/The Penguin Press.

Lewin, Roger. 1993. Complexity: Life at the Edge of Chaos. London, J. M. Dent Ltd.

Lineweaver, Charles H., Davies, Paul C. W. & Ruse, Michael (eds.). 2013. Complexity and the Arrow of Time. Cambridge, Cambridge University Press. Marshall, James. 1998. Goldilocks and the Three Bears: Retold and Illustrated by James

Marshall. New York, Puffin Books.

Monod, Jacques. 1971. Chance and Necessity. New York, Alfred Knopf.

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Pyne, Stephen J. 1982. Fire in America: A Cultural History of Wildland and Rural Fire. Princeton, Princeton University Press.

Pyne, Stephen J. 2001. Fire: A Brief History. London, The British Museum Press. Reeves, Hubert. 1986. L'heure de s'enivrer: L'univers a-t-il un sens? Paris, éditions du Seuil.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Reijnders, Lucas. 2006. 'Is increased energy utilization linked to greater cultural complexity? Energy utilization by Australian Aboriginals and traditional swidden agriculturalists.' Environmental Sciences 3, 3 (207–20).

Schr.dinger, Erwin. 2013. What is Life? Cambridge, Cambridge University Press (1944).

Smil, Vaclav. 1991. General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Smil, Vaclav. 1999. Energies: An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization. Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2006. Energy: A Beginner's Guide. Oxford, One World Publications.

Spier, Fred. 1996. The Structure of Big History: From the Big Bang until Today. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 2005. 'How big history works: Energy flows and the rise and demise of complexity.' Social Evolution & History 4, 1 (87–135). Moscow, 'Uchitel' Publishing House.

Spier, Fred. 2008. 'Big history: The emergence of a novel interdisciplinary approach.' Interdisciplinary Science Reviews 33, 2 (141–52).

Trefil, James & Hazen, Robert M. 1995. The Sciences: An Integrated Approach. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Waldrop, M. Mitchell. 1993. Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos. London, Viking (1992).

Zalasiewicz, Jan & Williams, Mark. 2012. The Goldilocks Planet: The Four Billion Year Story of Earth's Climate. Oxford, Oxford University Press.

推荐阅读书目

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions. Reeves, Hubert. 1991.

The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H.

Freeman & Co. Smil, Vaclav. 1991. General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization. New.York, John Wiley & Sons, Inc.

Smil, Vaclav. 2006. Energy: A Beginner’s Guide. Oxford, One World Publications.

Spier, Fred. 1996. The Structure of Big History: From the Big Bang until Today. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Waldrop, M. Mitchell. 1993. Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos. London, Viking (1992).

[1] Monod (1971).

[2] Von Humboldt (1997), pp. 82-83, 原文见德文版（1845）, pp. 83-85。

[3] 社会科学研究群体不大情愿使用“系统”概念，这很有可能是对美国社会学家塔尔科特·帕森斯（Talcott Parsons）相关界定的一种反动，帕森斯把社会系统定义为主要是静态的存在，而其理论在20世纪50至60年代居主导地位。

[4] “体系”（regime）一词在《大历史的结构》一书中的定义是：“大致有规律，但在根本上属于不稳定的某种格局，从时间上看则是永恒存在的。”参阅Spier（1996），p. 14。埃里克·詹奇在《自组织的宇宙观》（1983）一书中曾提出过“过程结构”（process-structure）概念，我个人觉得这一概念与“体系”概念非常相近。但在撰写《大历史的结构》一书时，我还不知道詹奇的这本大作。

[5] Chaisson (2001), p. 234.

[6] 能被界定为“做功的能力或远距离施加作用力的能力”［参阅Tre.l & Hazen（1995）, section G-8］或“做功或造成变化的能力”［参阅Chaisson（2001），p. 232］。这就引出了另外一个问题，即“什么是功？”我个人认为，所谓“功”和“力的作用”不过是物质的改变。

[7] Smil (2006), p. 1.

[8] 为绝大多数人所广泛接受的“复杂性”的定义——原本是为所谓复杂适应系统设定的（基本上涵括所有基于生命体的各种形式的复杂存在）——是以信息内容为依据的，即其可能的最简描写，参阅Gell-Mann（1994），pp. 23.。这一定义对描述所有形式的复杂实体并无多大帮助，因为大多数的复杂实体是无生命复杂非适应性系统。若以信息为依据描写所有形式复杂实体的各个方面，我们很快就会陷入无穷尽的陷阱。究竟到哪一步才算完结呢？是不是要一路描写到最微小组块粒子全部的量子态呢？包括其位置、运动等各方面的状况？换言之，以信息为依据描写任何稍大一些的复杂实体都会呈现高度分形的特征。

[9] 比较Gell-Mann（1994），Chaisson（2001），pp. 12-13。有关新兴的复杂科学研究，可参阅以下经典概述：Waldrop（1993）；Lewin（1993）；Gell-Mann（1994）；and Kau.man（1993 & 1995）。

[10] “相对自主性”概念是由社会学家诺伯特·埃利亚斯（Norbert Elias, 1978, pp. 32.）阐述的。奥古斯特·孔德在其《实证哲学教程》系列图书（2011）中曾提出类似“相对自主性”的命题，并以此说明社会学是有关人类社会的新科学，且人类社会不能还原为物理学或生物学。

[11] 2008年3月，圣达菲研究所（SFI）在夏威夷召开有关历史上各种复杂实体的会议，笔者在发言中阐述了不同层次复杂实体的界定问题。作为回应，圣达菲研究所杰弗里·韦斯特（Geo.rey West）所长说该研究所没有一个统一的有关不同层次复杂实体的定义，针对当前的复杂性研究，韦斯特所长还有一句颇为俏皮的说法：“我们只是做复杂性研究，就像做爱一样。”不过我们之间的讨论还是激励他把这一问题提到了圣达菲研究所的研究日程。可同时参阅Lineweaver, Davies & Ruse (2013)。

[12] 这正是理查德·道金斯（Richard Dawkins，1976）所谓“迷因”的研究思路，不过在笔者看来，这种研究注定是徒劳无功的。

[13] 比较Adams & Laughlin (1999)。

[14] Smil (1999), p. x.

[15] 有关功率密度，参阅Chaisson (2001), p. 134 and (2008 & 2009)。

[16] 2005年，瓦克莱夫·斯米尔曾告诉笔者说，这并非是完全新颖的观点。斯米尔在继英格尔伯特·布罗达（Engelbert Broda）的《生物能的演变过程》（The Evdution of Bioenergetic Prograss, 1975）问世之后在其《普通热力学》（General Energetics, 1991）一书中称，（他所谓）生物能的强度，包括儿童和某些细菌，都要比太阳能的强度高得多，参阅Broda (1978), p. 41, and Smil (1991), p. 63。斯米尔所谓的“能强度”概念与蔡森的功率密度概念基本相同，而布罗达称之为“单位质量的能产出”。不过此二者与蔡森不同，他们

都未能创制一个“能强度”或“单位质量的能产出”的综合列表，就像蔡森别出心裁地从大历史或宇宙演化的角度创制综合列表一样。埃里克·蔡森写信告诉我说，他此前从未读到过前二者的作品，而他自己的相关计算发表在1987年出版的专著《生命时代》（The Life Era，pp. 253.）。这显然是多位学者各自独立发现的一个过程，所以更有力地说明了这一思路是可行的。

[17] Chaisson (2001), p. 139. 蔡森表中的功率密度使用的是erg s–1g–1单位，实际量等同于10–4瓦 /千克。本书统一采用国际单位制（缩写为SI）。在类似的另一表中（Chaisson，2011a），蔡森将“行星（地球）”改为更正确的说法“地圈”。

[18] Chaisson (2001), pp. 136-139.

[19] Chaisson (2001), p. 186.

[20] Chaisson (2001), p. 138中设定“男士人均体重70公斤”，并同时假定人均“一般日消耗2,800千卡热量（或合计130瓦的食物），才能驱动新陈代谢”。

[21] 一个数量级等于10倍。

[22] 蔡森对人类史的统计中包含业已学会使用火的能人（Homo habilis），其功率密度为4瓦 /千克，参阅Chaisson (2001), pp. 202-203，不过他没有提供智人（Homo sapiens）的相关统计数字。有关赖金德斯的批评，参阅Reijnders (2006)。诸如Stephen Pyne (1982 & 2001), Johan Goudsblom (1992)和Frank Niele (2005)等学者也认为使用火是早期人类获取能量的一个重要来源。近来，蔡森认识到使用火对早期农业社会的重要作用，但我认为他还是低估了早期人类使用火在获取能量方面的潜在效应。蔡森2008年在写给笔者的一封邮件中称，在他看来，赖金德斯的计算结果显然过大。所以说要确立可靠的统计数字可能还尚需时日。

[23] Chaisson (2001), p. 201.

[24] Gell-Mann (1994), p. xiv.

[25] Chaisson (2001), pp. 143-144.

[26] 此外，还有一个现代版金凤花与三只熊的故事，可参阅Marshall (1998)。

[27] 将其称为“金凤花原理”最初是大卫·克里斯蒂安在2003年3月想到并告诉我的，当时他正评述我《大历史的原理》（“How Big History Works”）一文的草稿。他这样写道：“是的，非常好。我在自己的著述中还没有提到这一点。这实际上等于把‘金凤花’原理应用到复杂实体的研究中，其旨趣正在于：能流必须恰到好处。但能流过度是复杂实体无从涌现的唯一解释吗？难道时间因素不是也很重要吗？我的意思是说，有些复杂实体从统计学意义上出现的概率就很小，要它真正出场恐怕要更多耐心，正如随机漫步理论所指出的那样。”我当时回答说，之所以没有使用“金凤花原理”概念是因为我担心这个词本来自盎格鲁—撒克逊背景，全球读者有可能看不懂。所以当时我在俄罗斯发表的文章中就没有使用这一概念。

后来我对金凤花与三只熊童话故事的全球化程度做了调研，发现受众——包括俄罗斯的受众——听到这个故事几乎都轻松且无一例外地理解我的理论叙述，我于是决定系统使用这一概念。与此同时，“金凤花原理”的表述也越来越受欢迎。科学家们 ——包括瓦克莱夫·斯米尔（2006）和保罗·戴维斯（Paul Davies，2006）——也开始使用这一概念。戴维斯用“金凤花原理”重新阐释人择原理（anthropic principle），人择原理是布兰登·卡特（Brandon Carter）1973年提出的，后来又有约翰·巴罗（John Barrow）和弗兰克·蒂普勒（Frank Tipler，1986）深入阐述。英国地质学家简·扎拉斯维奇和马克·威廉姆斯（Mark Williams）共同撰写了《最宜居的星球：40亿年的地球气候变化》（The Gold: Lock Planet: The Four Billion Year Story of Earth’s Climate, 2012）一书。2007年，美国天文学家鲁塞尔·热内（Russell Genet）在《人类命运：曾为黑猩猩终为蚁》（Humanity: The Chimpanzees Who Would be Ants）一书中称“金凤花原理”是“宇宙间最基本的原理之一”（第24页）。不过奇怪的是，热内仅在叙述宇宙史的时候使用这一概念，而没有用来阐释人类史，虽然人类史才是其书的主旨。

[28] 参阅Spier (2008)。

第三章
宇宙演化：简单形式复杂实体的涌现

引言

宇宙学家讲述宇宙史完全遵循这样一个观点：在金凤花边界之内，能流过物质在很大程度上决定了哪些事件会发生，其余的都交给偶然性。这种做法并不使人感到惊讶，因为天文学家和宇宙学家从来就是这样解读观测到的数据的。因此，本章对天文学家而言并没有多少新知，甚至根本没有什么新颖的东西。事实上，早在1986年，加拿大裔法国天体物理学家于贝尔·雷弗在其极富启发意义的专著《欢乐时光》（*L' heure de s' enivrer*,1991年出了英文版）中就已经开始使用复杂性提升及熵必然增加的概念分析宇宙演化的进程了。

因此，颇令人惊讶的反倒是迄今仍未见有学者依据这一理论系统阐述包括人类史在内的宇宙演化历程。笔者在此讲述的宇宙史可谓是从当代科学的角度对宇宙演化主要事件的一次重述，只是这里特别看重能流过物质和金凤花条件而已。[1]读者从下文很快就会认识到，这一理论只有在稳定的物质形成之后才逐渐显露其理据和力量，而在此之前，能量和温度都太高了，以至于稳定的物质还不可能存在。

在所谓时空之初，不妨先赘言几句有关历史纪年的现状。谈到宇宙演化，人们通常以年为计量单位，不过宇宙之初却通常以秒计。一年通常被认为是地球绕行太阳一周所用的时间。但年究竟是如何确定的呢？这问题看来容易，却着实不那么简单。虽然地球绕行太阳的轨道相对稳定，但事实上却是每年都不同。另外，地球环绕地轴自转的速度实际上也在下降，所以白天和黑夜都因此变长了，每年的天数也因之减少了。这给要求越来越准确的计时带来了不少问题。因此之故，现在的计时不再以天体运行为依据，而改为化学元素铯的同位素Cs-133原子在单位时间里辐射振荡的次数，即每振荡9,192,631,770次的时间为一秒。[2]虽然迄今人们还不能就一年的具体时长达成一致意见，但一般认为一年包含

31,557,600秒。在宇宙史中，这种时间建构也可用来标记地球史、元素铯同位素Cs-133尚不存在的时段，甚至稳定的物质还没有形成的时期。换言之，借助于这种时间尺度，我们甚至可以度量亘古至今的凡间世界。

虽说当代有关宇宙诞生的观念常被人称为惊心动魄，但这段故事却少有传统创世神话中才有的情感、魅力和兴奋。根据现代科学家的说法，早期的宇宙不但没有任何生命迹象，而且事实上非常简单。

“大爆炸”：至朴

现代科学认为，宇宙最初涌现之时，大量能量和物质近乎无限密实地聚拢在一起，根本无以区分开来。这是我们只可能在想象中才能得见的一个至朴至元的体系，因为那时的物质和能量是一致的，也根本没有什么程度的复杂存在可言。但从那一刻起，整个宇宙在一种尚不为人知的力的驱动下开始迅速膨胀，直至今日还没有停下来。这一初发的原始事件被称作“大爆炸”，其实这个词是1949年3月英国天文学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）在英国广播公司（BBC）的一次访谈中造出来的。而且霍伊尔在使用这个词时不无揶揄的口吻，因为他很怀疑这样一种宇宙诞生的图景。“大爆炸”观念本身虽发端于传统创世神话，但现在差不多整个天文学界都将其视为宇宙诞生最有可能的一种图景。那么为什么现代科学家都会这样认为呢？

“大爆炸”宇宙起源说有三重彼此独立的观测证据。首先也是最重要的证据是天空中部分天体的图景，据信这些图景足以说明距地球非常遥远的多个星系的现状。虽然上述不少相关图景被解读为不过是局部或地方的某种变异，但多个实例加到一起还是能够得到一个总体图景，即星体的形象越是小且昏暗不清——说明光线穿越了更长的距离才到达地球——其发生所谓“红移”（red shift）的现象就越频繁。这里最核心的要点是：这种光线包含一种由特殊化学元素发出的辐射谱线，只不过这种谱线比在地球上静态观察到的波段要长一些。这一朝更长波段（因此趋向红光）偏移的现象据说是一种天空中的多普勒效应。造成这种多普勒现象的原因在于：移动源体发出的光线或声音，其波段在远离观察之时似乎会变长。因此，来自不同星系光线的红移现象说明：至少在辐射光线发出时，这些星系正在远离地球，而且星际物体远离地球的速度越快，红移量也就越大。

科学家们发现，在星系形象的光度与其红移之间存在着明显的对应关系：星系的形象越小、越微弱，其红移量也越大。这一强有力的证据说明，所有这些星系不仅在远离地球，星系彼此之间的距离也在加大。因为天文学家只能凭星系的形象确定宇宙中的空间关系，所以结论也是不可避免的，即从红移的数据一路追溯回去，整个宇宙一定在向外膨胀。如果此说成立的话，那么在宇宙史的早期，宇宙一定比现在小得

多。因为宇宙学家没有任何证据证明宇宙的膨胀曾经停滞过甚或出现过逆转，所以必然要接受以下结论：在宇宙史最初的一刹那，物质和能量一定是以某种致密的方式聚拢在一起。突然间，这个所谓的奇点爆炸了，爆炸的这一刻被称为“大爆炸”，而“大爆炸”就是我们今天所知的时空的开端。科学家们结合星系发光穿过的大致距离与红移量的状况，就可以估算出宇宙膨胀的速度并由此确定宇宙的年龄。根据目前最可靠的估算，宇宙自“大爆炸”至今已经历了大约138亿年的时间。

第二重数据主要包括宇宙背景辐射（cosmic background radiation），在整个天空所有的地方都能观测到。科学家们由此可追溯到宇宙大约38万岁时的情境。那时候，整个宇宙应该呈现中性，因为大部分带电粒子——带正电的质子和氦核，以及带负电荷的电子——组合成中性原子，在此过程中，彼此所带的电荷相互抵消了。因此之故，此时的光在早期宇宙间基本畅行无阻，因为宇宙中不再有散布在各处的带电粒子。在这一过渡时期，宇宙的温度大约为3,000K（K为绝对温标），造成了相当均匀的热辐射。由于宇宙后来还在不断膨胀，如今这一热辐射的温度已经下降到只有很少几K。这正好与观测到的约2.7 K相吻合。虽然这一数据并不直接支撑宇宙“大爆炸”的图景，但却与此图景非常吻合。

第三重观察数据有关宇宙丰度即其物质构成成分的测定。宇宙学家由此断言：宇宙中所有发光物质有70%是氢元素，27%为氦元素，而所有其他化学元素——包括人本身的构成要素——加起来不过几个百分点。这一有关物质构成成分百分比的观测结果与炽热至密并迅速膨胀的宇宙的理论测算近乎完全一致。换言之，现有理论预测出来的有关早期宇宙该产出的氢、氦比例与基于观测数据推理得到的结果是一致的。在过去的数十年间，科学家们对这类数据进行了大量的开采和提炼，其结果正如本书下文简要的宇宙史概述：我们所能“观察到”的宇宙起源于138亿年前，宇宙从此一直在不断膨胀。

近期有关“大爆炸”图景的讨论

上述三重主要数据为宇宙“大爆炸”起源说提供了貌似真实的证据（plausible evidence），但下述两种观测数据却为此说带来了严重问题。

第一个问题是星系的运动问题。如果当前的引力理论不误的话，那么星系中实际包含的物质肯定要比我们通过光探测到的物质总量要多得多，因为仅凭光探测到的物质的引力远不足以解释星系中的恒星及星系本身为何如此运动。由此，有学者提出了暗物质（dark matter）假说，且据此说，暗物质才是宇宙中最大量的物质存在，其总量大约是普通物质的6倍。因为暗物质只有在显现自身引力的情况下才能为人类所感知，而除此之外不与我们所熟悉的普通物质进行互动，或仅以极其微弱的方式互动。这一下，普通物质竟成了宇宙所有物质中极小的一个部分。甚至有少数科学家开始怀疑引力理论是否有误。只不过科学家们经过长期而紧张的探索并未找到令人信服的暗物质存在的证据。也许对引力理论稍加调整就可以剔除暗物质说的必要性吧。但大多数物理学家不情愿改变引力理论，因为在过去的数世纪，牛顿的引力论及爱因斯坦的相对论解析颇为完美地解释了那么多人类观测到的物理现象。[3]

给宇宙学家带来严重理论问题的第二种观测数据与一种名为1a型超新星（Type 1a supernovae）的恒星大爆炸发出的光有关，1a型超新星隶属于银河系之外的其他星系。科学家们对这种恒星大爆炸产生的光的量颇有把握，因此认定测量这种光的强度就可以估算光抵达地球穿越的距离，当然条件是宇宙尘埃没有严重改变光的亮度，以至于天文学家无法准确地测算。但测算的结果令人大出所料：结合大爆炸产生的红移和光的亮度测算，结果显示宇宙至少在50亿年前就开始了加速膨胀，甚至比这还要早一些。这与科学家们理论上的期待大相径庭，就是说宇宙中各种物质产生的引力相加本应该减缓宇宙膨胀的速度。尽管人们对上述观测数据的效度还不是很确定，但有不少宇宙学家却开始用一种新的——迄今尚不为人知的——力来解释这一现象，认为这种力至少在50亿年前已经出场。不过由于科学家们对这种力基本上还一无所知，所以将其命名为“暗能量”（dark energy）。[4]

由于可能存在暗物质和暗能量，普通可观察到的物质和能量在宇宙

中的份额出现锐减，加起来只占其中很小的一部分。根据现行的说法，普通物质占宇宙总存在物的4%，暗物质占23%，而暗能量的比例则高达73%。上述计算和比较基于著名的质能公式$E=mc^2$，其中E表示能量，m表示质量，c表示光在真空中穿行的速度。

但无论如何，正是我们所熟悉的物质和能量造就了我们周围可观察到的各种形式的复杂实体。因此，大历史的叙事主要关注普通物质和能量。当然，暗物质有可能协助塑造了星系，暗能量也有可能使不同星系彼此加速远离，而这一切也很有可能影响了大历史，甚至人类史。但除此之外，至少就目前看，还是普通物质和各种已知类型的能源主导了宇宙中各种形式复杂实体的兴起和消亡。

天文学小史

现代人类在20万年前诞生之后，便开始观测天象并试图弄清其中的规律。但在相当长的时间里，人的肉眼是唯一可用的观测工具。这就等于把我们祖先的视野束缚在可见光的范围之内，而可见光只是整个电磁波频谱很小的一部分。直到20世纪，借助射电望远镜及后来其他新发明的能够捕捉整个电磁波频谱的传感器，人类对宇宙的认知才得到极大的拓展。此后，人类对宇宙空间的探索也促进了这一方面的巨大进步。目前，人类已经能够在地球的大气层之上架设传感器，因为大气层阻隔了相当一部分的电磁波频谱，此外还有架设在其他天体附近或表面的传感器。所有这些举措都极大程度地增加了人类对宇宙太空的新知。然而值得注意的是，目前人类宇宙史的基本模式仍是立足地球的天文学家们奠定的，其所使用的工具也是数字革命与航天飞行兴起之前的老式工具。

早期国家社会越来越多地使用工具——通常是服务于政府的——导致人类对天体的位置及其周期变化有了更多也更准确的测量。这种测量活动造就了人类最早的科学宇宙观，其中最突出的是古巴比伦、古埃及、古印度和古代中国，紧随其后的有古希腊、希腊化世界、伊斯兰世界、玛雅帝国、印加帝国和欧洲等地。准确地说，这一时期的观测是农业社会试图从天象预知未来的那种观测，属于占星术（astrology）之类，并依此协调农业生产。但与此同时，却也不乏执着好奇的探寻者，总试图通过观察弄清上天运行的原理。

只有到了17世纪，科学的天文学才完全摆脱占星术。这一历史

进步恰好发生在乌得勒支七省联盟（Seven United Provinces，今荷兰）发明望远镜之际，而望远镜大大拓展了人类肉眼获得的电磁信息。不过当时大量的信息都是借着烛光手抄记录下的，这也限制了时人所能取得的成就。

随着时间的推移，人类逐渐获得了有关天体的更准确的信息，后来就有了约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler，1571—1630）有关太阳系的模型，而艾萨克·牛顿爵士（Sir Isaac Newton，1643—1727）又对开普勒模型做了理论上的精彩诠释。19世纪的天文学有了新的进展，人们开始在望远镜上装配仪器，科学地分析观测到的光线，尤其是新发明的光谱仪和旋光仪。这使得天文学一下子成了物理学的一部分，所以当今很多专业的天象观测者喜欢称自己为天体物理学家。

19世纪末20世纪初，人类又学会了借助摄影术捕捉天体的形象，这样有关天体的图像就更可靠了，信息也更详尽了，这是因为感光板可以曝光很长时间，所以捕捉的光就更多，信息也更丰富。这一时期还目睹了更大的望远镜问世，目标与上述一致。所有这一切使得维斯托·梅尔文·斯里弗（1875—1969）、埃德温·鲍威尔·哈勃（Edwin Powell Hubble，1889—1953）和米尔顿·拉塞尔·赫马森（Milton Lasell Humason，1891—1972）等天文学家能够在20世纪上半叶对整个天体做出至关重要的观测，使人类认识到宇宙在不断膨胀并且有一个清晰的开端，而这也使得宇宙史的书写成为可能。

20世纪则见证了无线电和雷达的发明。20世纪60年代，人类把高敏感度的微波天线对准太空之时，意外地发现了宇宙背景辐射，后者遂成为大爆炸宇宙说的重要证据。目前，人类正努力锐化、提纯各种不同观测模式得到的信息，争取对地球上及太空中所有的电磁波频谱进行全方位的探测，这使得人类有关宇宙演化图景的信息更为详尽和丰富。

辐射期：最小尺度复杂性的涌现

在万物之初，也就是宇宙“大爆炸”的那一刻，物质和能量还没有分化。可一旦宇宙开始膨胀并开始降温，最初的分化过程就开始了。分化的结果一是电磁辐射，二是稍纵即逝的各种形式的物质。在宇宙史的早期，电磁辐射是主导的存在和力量。在这个所谓的辐射期（Radiation Era），强大的辐射与短命的物质微粒并存，后者由辐射生成，可随后不久就相互抵消，又变成了辐射。辐射与物质的相互转化遵循质能公式$E=mc^2$。这是宇宙史上唯一具备如此大范围辐射与物质相互转化所需的金凤花条件的时期。在这种极端条件下，辐射和物质相互转化的结果，呈现出一个复杂度极低、物质存在时间极短且瞬息万变的存在体系。[5]

宇宙的迅速膨胀造成温度的骤然降低和压力的瞬间减弱。这正是最早的物质涌现的金凤花条件。尤其是在最初的四分钟之内，其整体变化之大、变化速度之快，更是在此后的大历史进程中从未再有过，因为在这短短的四分钟之内，宇宙所有的基本特征都已涌现出来[6]，其中首先是四种基本的自然力出现了，即强（核）力、电磁力、引力和弱（核）力，以及与基本力相联系的自然常数。暗能量也有可能是在这一时期出现的。

强力只在较短距离内发生强大作用，作用于原子核的主要组块质子和中子并使其相互吸引。电磁力比强力要弱，大约是后者的百分之一，但其作用的距离较长。电磁力的不同寻常之处在于它能够使带相同电荷的粒子相互排斥、带不同电荷的粒子相互吸引，这一点与其他的自然力不同，也没有人知道为什么会是这样。因此，电磁力能够均平粒子在电荷上的差异，造成一种中性的物质。其结果，就是带正电荷或负电荷的物质无法大量集聚。不过，这也在很大程度上限制了电磁力作用的距离。

在原子核内部，强力和电磁力会维持某种平衡。电磁力使带正电荷的质子彼此分离，而强力却使其相互吸引。中子不带电荷，也因之不受电磁力的影响。原子核内的质子数越多，其所需的中子数也就越多，因为只有这样才能通过强力把原子核绑缚在一起。而这也限制了原子核所能达到的体积。在所有化学元素中，氢的原子核最小（只有一个质

子），而铀则是自然形成的稳定的原子核中体积最大的（有92个质子和146个中子）。

电磁力可通过原子核吸附的电子间的相互作用造成更大的实体。因此说电磁力是所有大于原子核的复杂实体的真正塑造者，从极微小的粒子到人的身体都如是。

引力比强力和电磁力都要弱许多，也就相当于强力的$1/10^{40}$，但引力作用的距离更远。在引力的作用下，所有有质量的粒子都相互吸引。引力与电磁力不同，因为后者倾向于造就中性的物质，其作用力的距离也因而受到限制；引力虽然较弱，却会造成物质的大量集聚，形成诸如恒星、行星、黑洞、星系之类的大块头，所以在更长的距离间能产生强大的效应。

由于上述多重力的联合作用，强力和电磁力就成了塑造小型和中型复杂实体（从最微小的粒子到直径几公里的岩石）的力量，而引力则专司较大实体（行星、恒星和星系）的形塑。在后者的大型实体中，前两种力只在小范围发挥作用。弱核力在某些核衰变与核聚变的过程中会发生一些作用，但仅此而已，不再参与更复杂实体的形塑。没有人真正清楚为何宇宙间会涌现出这四种基本的力，但假如不是这样，而是稍有不同，那整个宇宙肯定会大相径庭。

在宇宙形成的最初几分钟之内，除了上述四种基本的力出现之外，所有的基本粒子也都问世了。这些粒子就成为此后宇宙间各种复杂实体的组块。但我们还不清楚暗物质是何时涌现的，所以笔者有关物质形成的叙事只关注普通物质。

最初从辐射中涌现出的稳定的核粒子叫重子（baryons），主要成分是质子和中子。这种相对较重的粒子是原子核最主要的组块。宇宙“大爆炸”之后的10^{-35}至10^{-4}秒内，宇宙的温度已降至足以产出重子，也只有在这极短的时段内才具备产出重子的金凤花条件。条件之一是早期宇宙的密度由10^{75}kg/m^{3}降至10^{16}kg/m^3，条件之二是宇宙的温度由10^{27}K降至10^{12}K。由于在这一时期内物质重新转化为能量的金凤花条件迅速衰落，大多数重子就被凝结住了，不再可能转化成能量。

这时的一个主要问题是：物质从能中衍生出来，实际上化作两种物质。一种是普通物质，包括人在内的所有复杂存在都是由普通物质构成的；另一种是反物质，反物质就像普通物质在镜像中的自我，质量完全相同，只是所带电荷和磁性正好相反。比如，普通质子带正电荷，那反质子就带负电荷，二者质量相同。物质与反物质一旦遭遇，其结果就是

彼此消灭对方，共同回复到辐射状态。而今，借助大型粒子加速器，很轻松就可以演示物质与反物质的生死厮杀。

这里就提出了一个颇为深刻的问题：为什么物质和反物质出现后没有捉对厮杀、相互湮灭并最终转化成能量呢？果然这样的话，那么宇宙中就不会有物质存在，而只有辐射了。这一问题至今仍没有很好地解决。根据大多数天体物理学家的说法，最初物质和反物质生成后，出现了极少量物质的剩余，大约是每100亿对物质和反物质粒子有1份多余的普通物质粒子。尽管绝大多数的物质和反物质相互湮灭并最终回复到能的状态，这一极微小的普通物质剩余就构成了后来宇宙中存在的所有普通物质。

宇宙“大爆炸”之后约10^{-4}秒，质量小得多的轻子（leptons）——最主要的是电子和质量极轻的中微子（neutrinos，也就是小的中子）——凝聚的条件也具备了。在普通物质中，电子的作用是环绕原子核旋转并使原子呈中性。电子还参与化学键的生成，而化学键连接着不同化学元素的核，这样，就可以使分子中的粒子聚合到一起。因此，电子在造成更复杂实体涌现的过程中也发挥了重要作用。中微子在某些核反应中能够起到些作用，但除此之外很少与普通物质发生反应。所以说中微子在更复杂实体形成中的作用是非常有限的。

轻子聚合的过程与重子聚合颇为相似，共持续大约100秒的时间。在此期间，温度从10^{12}K降到10^{9}K，密度也由$10^{16}kg/m^{3}$骤降到$10^{4}kg/m^{3}$。与此同时，还会有类似的粒子与反粒子相互湮灭的现象发生，只有极少量的轻子残留下来。

就这样，在过了大约100秒之后，只有普通物质幸存下来，沐浴在一片电磁辐射的汪洋大海之中。此时的物质大多只是以质子、中子、电子和中微子的形式存在。质子与电子的数量相当，但质子数要大大高于中子数，二者的比例大约为5∶1。但不知道暗物质是否也在这一时期形成。

在接下来的时间里，大约是宇宙“大爆炸”后100秒至1,000秒之间，最早的重原子核生成的金凤花条件也形成了，最多的是氦，此外还有一些氘和锂。这些重原子核是质子和中子在强力的作用下生成的，也就是原始核合成（primordial nucleo-synthesis）。在此期间，整体温度由10^{9}K下降到3×10^{8}K。同样，这一过程也是物质和能量在特别合适的金凤花条件下完成的。这一过程在最初的几分钟内进展得特别迅速，消耗殆尽了所有剩下的自由中子，从而成为氦原子的一部分。

虽然这一时期生成了大量的氦以及极少量的重原子核，但大多数质子还是自由的。因为质子就是氢的原子核，所以氢元素在宇宙中的存量特别巨大。时至今日，氢元素大约占到了宇宙中可观测到的物质的大约70%，而氦元素也占到了大约27%。在宇宙史的这一早期阶段之所以未能生成大量的重元素，其原因正在于此时宇宙膨胀的速度特别快。就是说这一时期重元素生成的金凤花条件还不具备，包括温度条件和压力条件都不能足够持久。若是早期宇宙膨胀的速度能够慢一些，那么几乎所有物质都会被转化成铁，即所有化学元素中最稳定的一种。这也是热力学意义上最稳定的结果，即铁原子核，而这一结果也会因转化过程中释放出的光子产生最大量熵。这种情况当然不利于生命体和文化的诞生。但事实是，宇宙“大爆炸”之后大量的化学元素都是以氢和氦的形式存在而不是转化成铁，这就使得大量的能得到储备，为后来更为复杂的实体涌现创造了条件。显然，对后来的宇宙演化进程而言，宇宙膨胀的速度可谓恰到好处。

那么，辐射期的熵或称无秩序又是怎样的一种情况呢？因为极强的辐射使所有物质陷于极度的混乱之中，那时的熵可谓达到或接近达到了当时情形所能容许的顶峰。假如在余下来的宇宙史各阶段，熵一直处于这样的峰值，那么此后的一切都将不会发生。不过好在接下来的时间里，伴随宇宙继续膨胀，宇宙本身被分化成多个物质聚合度较高的实体——星系，而星系之间是不断加大的星系际空间。这种极大的星际空间或星系际空间正好可以用来存储不断提升的熵量。假如没有这个巨大的熵垃圾场的出现，那么后来各种形式的复杂实体也不会出现。[7]

总之，辐射期是宇宙史上大多数最小尺度复杂实体在瞬息万变的金凤花条件下形成的时期。按照金凤花梯阶的排列，首先是重子，然后是轻子，不过二者的存在都非常短促，条件也非常苛刻。不过，这些粒子持续存在的条件却有很大的不同，而在接下来的大部分时间里，这种不同的条件将在宇宙的大部分区域占据主导地位。结果，大多数早期形成的粒子一直到今日依然存在。适合重原子核生成的金凤花梯阶同样非常短促。不过，如下文所述，在宇宙史的后续阶段，与此在原理上类似但持续时间更长的条件在恒星主导的区域出现了。这里最主要的区别是：早期宇宙史的金凤花条件在当时大致均质的宇宙中往往普遍存在，而在后来的阶段中，金凤花条件则更多出现在局部区域，即恒星主导的区域，周围是广阔的空间。

埃里克“微观进化”（micro-evolution）。这种瞬息万变、转瞬即逝的体系的“微观进化”为后来更为复杂的实体涌现——詹奇笼统地称为“宏观进化”（macro-evolution）——创造了条件。随着时间的推移，

宇宙的微观进化与宏观进化将呈现交互影响的局面，詹奇称之为（宇宙的）“协同进化”（co-evolution）。[8]

化学元素的组成

地球上所有92种自然生成的化学元素都是由三种相同的组块构成，即相对较大的质子和中子以及相对较小的电子。质子的重量大约是电子的1,841倍，而中子比质子还要稍重一些。

质子带正电荷，所带电量与带负电荷的电子相同，中子不带电荷。质子和中子由三种更小的被称作夸克（quarks）的粒子组成。夸克共有六种，其中三种组成质子和中子。电子也由更小的粒子组成，即自旋子（spinons）和整子（holons）。不过，几乎在任何条件下，质子、中子和电子都呈稳定态，不会自动裂变成更小的组成成分粒子。

化学元素的核都极其微小且特别密实，均包含质子，而在比氢元素更重的所有元素中，还包含中子。化学元素是依据原子核中的质子数来界定的。最小的化学元素氢原子核中只有一个质子，但氢元素在宇宙中的存量最多。比氢稍重一点儿的化学元素是氦，原子核中有两个质子和两个中子。质量极轻且带负电荷的电子围绕带正电荷的原子核按照各自的轨道运行。

质子和中子受所谓强力的作用彼此相互吸引，但强力并不作用于电子。强力是宇宙间已知的最强大的力，但其作用的距离非常短，其有效作用范围只有10^{-15}米（中型的原子核）。强力使原子核固着在一起，虽然在电磁力的作用下带相同正电荷的质子同时也表现出彼此相斥的特性。电磁力的特征就是造成异电荷粒子相吸、同电荷粒子相斥。电磁力大约是强力的1/137，但其作用距离要大得多，所以电磁力会造成核内质子相斥，但同时吸引电子。鉴于这种情况，具有两个或两个以上质子的化学元素只有在核内同时存在一定量中子的情况下才能维持，中子的存在是为强化强力，起到某种胶合剂的作用。从原则上说，原子核内的质子数越多，其所需中子的数也就越大，这样原子核才能够粘到一起。

这里还有一个问题：中子不能在原子核外存在过长的时间，因为那样的话中子在第三种基本力——弱力——的作用下会出现崩溃。自由中子的半衰期大约只有15分钟，也就是说，超过这个时

段，就只剩原有中子的一半存在了。不过在原子核内部，中子的表现却要稳定得多，但也不尽然。这取决于特定原子核内能量的特定分布。因此，有少数化学元素因为核内中子过剩也会表现出不稳定的特征，比如氚（核内有1个质子、2个中子）和碳14（核内有6个质子、8个中子）。但一般而言，增加核内中子的数量会使原子核变得更加稳定，因为中子会抵消一部分造成核内质子相互排斥的电磁力。这一规律一直适用至铀元素，其原子核内包含92个质子和143~146个中子。比铀元素还大的原子核时间一长会变得非常不稳定。比如包含94个质子的最稳定的化学元素钚的原子核，其半衰期只有8,000万年，这就是钚元素在地球形成后40多亿年的时间里也从不会自然生成的原因。

原子核的稳定性一直到有26个质子和26个中子的铁元素都是不断上升的，因此铁元素是所有化学元素中最稳定的，而且在大自然中的储量也较丰富。比铁更重的化学元素较难生成，因为与强力相比，电磁力会逐渐居主动地位。因此，化学元素越重，也会渐趋更不稳定，除非有更多的中子在原子核中起到一定的稳定作用。换言之，化学元素越复杂，其对涌现条件的要求就会越高，也正因此，比铁重的化学元素依次会变得更加稀少。

因为整个原子的质量大多集中在微小的原子核，所以原子内部的空间还是蛮大的。事实上，我们观察日常生活中的物质，往往会看到数十亿的电子围绕原子核旋转，但却看不到原子核本身。由于原子内部有很大的空间，在极特殊的情况下，这种空间可以被挤压得很小，形成中子星，或更大一点儿的，可以形成黑洞。要做到这一点，就需要大量的物质在引力的作用下实现高密聚集，比如较大的恒星在其燃尽核燃料行将毁灭之际。巨大的引力将所有的电子、质子和中子挤压成高密度的中子星，甚至是黑洞。

物质期：原子及分子尺度复杂性的涌现

宇宙的不断膨胀致使物质和电磁辐射都变得更加稀薄。与此同时，光子的波段被拉长了。因为波段长了，其内部包含的能量就比短波段要少，单位辐射空间富含的能量就会迅速降低，比同一空间中物质富含能量的下降速度还要快。[9]因此，到了某个时间点，物质中富含的能量就必然比单位体积中辐射富含的能量还要高。由此，辐射不再主导整个宇宙。这一里程碑式的变革标志着辐射期过渡到物质期。根据最近的估算，这一过渡期是在宇宙“大爆炸”后约5万年发生的，当时宇宙的温度是16,000 K。[10]自此以后，物质成为宇宙的主导存在，而能流过物质使得更复杂实体的涌现成为可能。不过，要更复杂的实体真正涌现还需等待金凤花条件的出现，条件具备了以后，更复杂的实体才最终涌现。

由于不断膨胀，早期宇宙的温度也一直在下降。宇宙“大爆炸”后1000年时，宇宙的平均温度在60,000 K，而到了100万年后，即已降至1,000 K。在地球上，原子在温度达到3,000 K以上时会分解成其组成成分的原子核和电子，而原子核和电子在大约相同的温度范围也会重新组合成原子。显然，大约在宇宙“大爆炸”后1000年至100万年间，早期宇宙的温度降到一个合适的水平，以至原初的原子核——主要是带正电荷的氢核和氦核——与带负电荷的电子组合成最初的中性原子，而不久以后，又进一步组合成最初的中性分子。根据最新的估算，这一过程发生在宇宙“大爆炸”后约38万年。截至那时，宇宙的温度已经降至3,000 K。这恰是电磁力超过温度成为宇宙中塑造物质最重要的主导因素的时刻。因为电磁力会把带正电荷和负电荷的各种粒子融合成中性粒子，所以整个宇宙一下子呈现出中性特征。

上文曾提到，与带电粒子相比，辐射受中性粒子的影响要小得多。由于宇宙呈中性状态，辐射便不再受阻，可以在整个宇宙范围自由畅行了。换言之，宇宙一下子变得透明了。上文提到的宇宙背景辐射就可以追溯到这一时期。令天文学家们非常高兴的是，宇宙背景辐射呈现出一条近乎完美的黑体曲线，也就是说在其最初形成时整个宇宙达到了物质与辐射完美的热平衡。这就意味着在宇宙“大爆炸”后约38万年左右，宇宙大致处于均质状态，物质与能量的组成和密度间还没有多大的差异。宇宙背景辐射呈现出的微小差异现在还在深入研究中。有人认为这是宇

宙早期物质与能量密度出现的些许波动所致。

在宇宙演化的这一时段，稳定的物质中大多数是氢元素，占到约70%，氦占到大约27%。氦与氢截然不同，化学上呈惰性，也就是说不能与其他原子结成化学键，而氢原子则可与很多其他原子结合成单键。只不过当时所谓的“其他原子”还只是氢原子。随着时间的推移，氢原子结合成愈来愈多的氢分子，每个氢分子由相互结合的氢原子组成。此时还有少量其他极富活性的轻元素业已生成，特别是氘（重氢）和锂。但这并未导致大规模新化合物的生成，因为这种化学元素还是稍显简单，无力形成更复杂的分子。结果，宇宙早期生成复杂分子结构的可能性还是相当有限的。

攀登复杂性的金字塔（1）：化学元素的原子核

于贝尔·雷弗在其专著《欢乐时光：宇宙演化、秩序与复杂性》中指出，所有的普通物质都可以看作是一个复杂性不断提升、多样性不断增长、脆弱性不断加剧的金字塔。本文本框及此后几章中的续篇就围绕这一开创性的见解展开。

金字塔的最底端是非常简单、细小且健硕的粒子，数量特别大，但种类不多。而在金字塔的顶端，粒子的数量相对要少一些，可复杂度极高、品类愈发多样，但也愈发脆弱。所有粒子的组块由强力、电磁力和引力凝聚到一起。

如前所述，数量最多的粒子夸克被强力紧紧地绑缚在质子和中子里面，其绑缚的紧密程度之高，要数十亿电子伏特的能量才能解开（1电子伏特相当于1个电子下移1伏特电位差后所释放的能量）。因此，质子和中子间的夸克键非常稳定，而这正是质子异常健硕的原因。中子的状况稍有不同。在原子核内的中子通常很稳定，但自由中子却不稳定，大约15分钟左右就进入了半衰期。这是弱力在发生作用，但弱力却不作用于质子。若真的弱力也同样作用于质子的话，那整个宇宙间就不可能再有更复杂的实体出现，因为自由质子早已衰败，不再可能成为复杂结构的组块。

质子和中子键合成原子核是强力与电磁力权衡妥协的产物，强力使二者聚合，电磁力使质子彼此分离。原子核有大有小，质子和中子的键合一般都比较稳定，要数百万电子伏特的能量才能解开，所以大多数原子核都相当健硕。但原子核大了也会出现不稳定的情

况，比如有时电磁力会超过强力或经过弱力的作用中子从原子核中脱落从而改变原子核的结构。例如较大的包含有92个质子、143个中子的化学元素铀235就不大稳定，甚至相当脆弱，其本身还会产生破解自身的能量。这正是核裂变和核电站工作的原理所在。总之，自然形成的所有92种化学元素是构成更复杂实体不可缺少的组块，但这些组块本身的组成成分只有三种，即质子、中子和电子。化学元素越是复杂，就越稀少，同时也更脆弱。

星系形成：更大尺度复杂性的涌现

宇宙“大爆炸”后7亿至20亿年，当时的宇宙还只是如今的6%大小，星系从最原始的材料中涌现了。只有在这一时段，星系形成的金凤花条件才真正具备。不过从此以后，多个星系还是存留了下来。显然，星系持续存在的条件要比最初形成限制少多了。

所有的星系都是从原始的物质中涌现的，主要是氢和氦。氢、氦粒子在引力的作用下形成了更大的结构。因此，我们可以把星系的涌现看作是物质聚合的一个过程，原来散布在广阔空间的物质现在凝聚到相对较小的区域，物质聚合度大大提升，从而在宇宙太空中制造出相当大的物质梯阶。相比之下，现今的辐射不能以类似方式实现物质的聚合，这是因为没有一种什么力量能够把光子凝聚到一起并形成更大、更复杂的结构。结果，宇宙辐射伴随宇宙的不断膨胀变得更稀薄，而物质则聚合成星系。假如物质像辐射一样也在不断变得稀薄，更复杂的实体就不会出现。因此，星系形成的时期昭示了宇宙中物质与能量分布的一次重大变化：在此之前，整个宇宙大致是均质的，而在此后，宇宙几乎突然间变得凹凸不平。由于宇宙在持续不断地膨胀，多个星系便彼此分隔开来，星系周围是广袤无垠的星际空间。

尽管科学界对宇宙演化过程中星系形成的具体机制还不是非常清楚，但对其大致过程还是了解的，现简述如下。宇宙“大爆炸”38万年后变得更中性，此后的不断膨胀更导致温度继续降低、辐射水平持续下降，而物质密度也相应减少了。这一时期被称为“黑暗时期”（dark age），而且持续了数百万年的时间。宇宙处于黑暗之中，这是因为最初大爆炸的火球已经暗淡下来，而能够发光的恒星此时还没有出现。不过，大约在“大爆炸”后7亿年左右，很突然地大量星系开始形成了。显然，至此星系出现的金凤花条件已经具备。但这里最大的问题是：星系究竟是怎样从先前大致均质的宇宙中涌现的呢？

星系是自然生成的巨大物质团。因此，这里的主要问题是如此规模的物质最初是如何聚合成团的呢？目前，有关宇宙最久远的观察是“大爆炸”后38万年出现的宇宙背景辐射，这种辐射呈现出一种近乎完美的黑色球状物，据说这是因为那时绝大多数的物质和辐射相当均匀地散布在宇宙的各个区域。不过，更为精细的观测显示：横跨整个天空的宇宙

辐射还是出现了一些细微的差异。如图3.1所示，这种差异是最初的物质在引力作用下呈现出的丛簇抱团现象所致。显然，大约从宇宙“大爆炸”后38万年起，有可能在未来变成星系的高聚合度物质团已经开始生成。

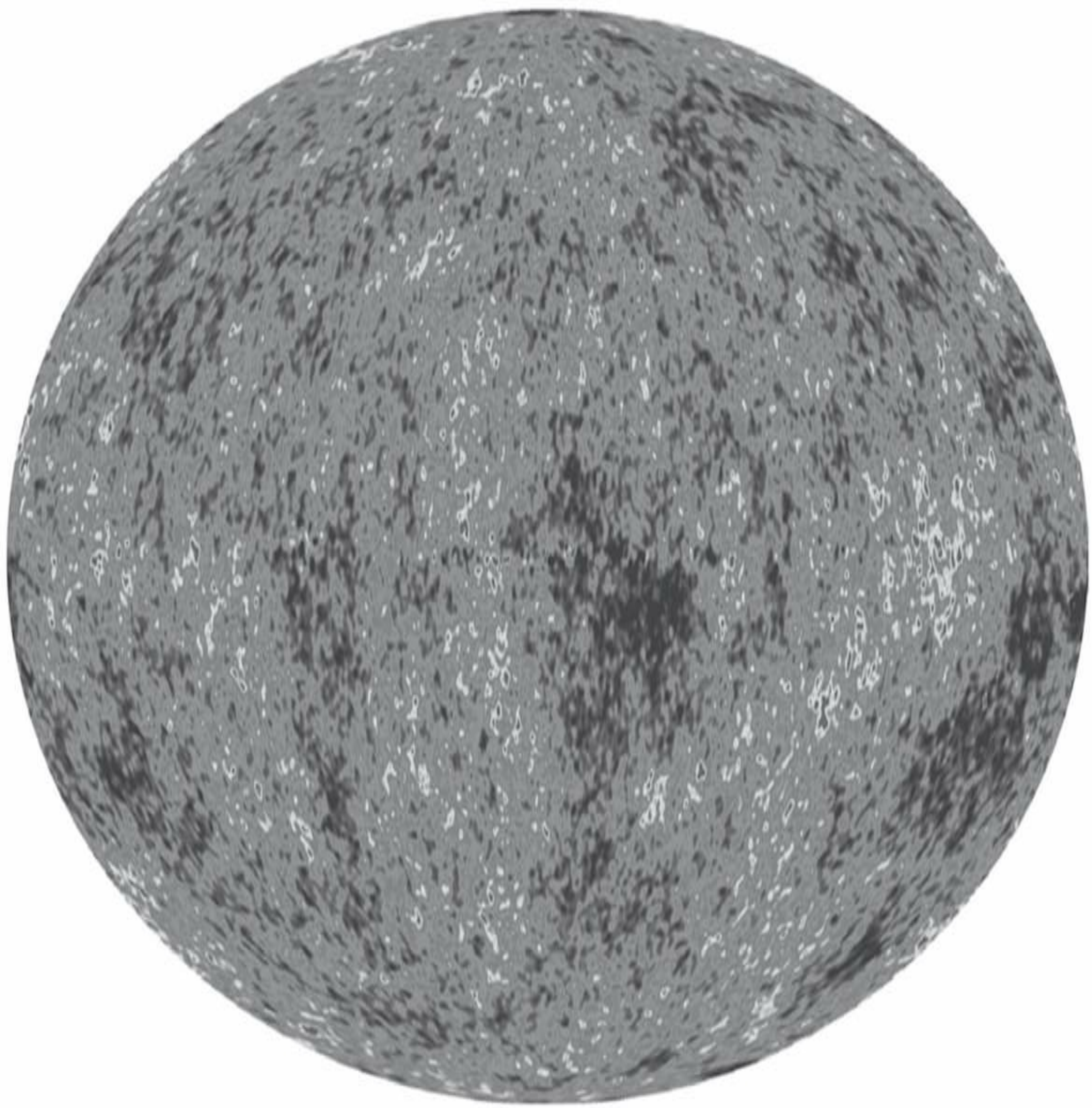


图3.1 宇宙背景射线的变异说明最早的复杂性已经涌现（来源：美国宇航局）

物质在密度上的差异可能是某种随机效应的结果，导致物质在宇宙中的分布出现不均衡。随着时间的推移，大量粒子在相互碰撞后就粘连到了一起，于是造成局部物质聚合度的提升，且对其他粒子的吸引力也

增加了。在这一过程中，有些地方出现了较大的高聚合度物质团，而其周围空间物质的含量必然减少。结果，星系和星际空间同时形成了。此时的温度也不像以往那么高，不至于让正在形成中的物质体系迅速解体，而物质密度也足够大，能够使大量物质聚拢在一起。

这一图景最大的问题是：在当时情况下，引力还不足以使所有物质聚合成星系。在此，暗物质有可能起了作用。据最近的一项研究发现，暗物质可能在宇宙呈现中性之前即已开始聚拢。暗物质的这种早期凝聚是可能的，因为除引力之外，暗物质在当时还没有，或仅仅非常微弱地，与普通物质和辐射发生互动。早期暗物质的凝聚会进而造成更大规模的实体结构，然后通过其自身巨大的引力作用吸附普通物质并最终凝结成星系。不过也许我们并不充分了解引力，也许引力理论稍加改造就足以完满地解释星系的形成过程，而不需暗物质概念的介入。

另外，有关星系形成和演化还有一个我们自身视角的问题：从地球的角度视之，宇宙好像从哪个方向看都大同小异。有理论学者认为，这意味着早期宇宙形成期哪怕有再多的差异，也被异常快速的宇宙膨胀抹平了。有学者提出这样的假说：在“大爆炸”后的10^{-36}至10^{-32}秒之内，宇宙的体积膨胀了10^{26}倍，就相当于一下子把质子变成太阳系那么大。该理论由美国物理学家艾伦·古斯（Alan Guth，1947— ）首创，后有俄裔美籍理论物理学家安德烈·林德（Andrei Linde，1948— ）对其加以改进，被称为“暴胀论”（inflation）。这种初期的宇宙暴胀应该是在强子和轻子出现之前。据说是某种单一的超强力量一分为三：强力、电磁力和弱力，而超强力分裂释放出的能量造成了宇宙暴胀。在超强力分裂之前，引力早已成为一种分立的力量。2014年，首个支持暴胀论的实验证据问世：科学家们可能在宇宙背景辐射中探测到了一个微弱的磁性偏振信号。

且不管星系最初形成的具体机制如何，星系肯定是在宇宙早期问世的。而且就在其涌现期间，为数众多的行星已开始彼此远离，证据就是今日观测到的多普勒红移效应。不过也有另外一种情况发生：引力把不少星系拉到了一起，而无数星系可能已经彼此融合。不过随着时间的推移，这种星系趋近的现象变得越来越少。

所有星系均处于旋转之中。这是星系得以存在的必要条件，因为假如星系停止旋转，所有的物质就会从很早起就开始向星系的中央靠拢，形成一个巨大、密实的物质团。星系之所以旋转，是因为它本身就是大量物质随机运动的产物，而旋转有助于加强物质向星系的收缩。其原理与冰上舞蹈选手把手臂贴近身体会突然加速自旋一样。我们在下文还会

看到，太阳系在形成过程中也有类似的位居中央的恒星和周边行星旋转的现象发生。

凡星系的中央都聚集了大量至密物质，人类不可能直接观察到，因为这里的引力非常强大，任何存在物——包括光线——落入星系的中央都不可能再逃脱。这就是有名的黑洞。黑洞能够被发觉是因为它具有超强的引力效应。显然，物质朝向星系的汇聚造成了两种截然不同的过程：一方面，数十亿的恒星横空出世；另一方面，数不清的黑洞渐次形成。当然，上述过程取决于汇聚到一起的物质质量有多大。如果汇聚的物质质量小于太阳质量的200倍，就会形成恒星；而如果量再大，就会形成黑洞。在这种超级致密的体系之内，任何更复杂的实体都不可能形成，因为此间巨大的引力会摧毁任何可能形成的结构实体。不过，黑洞在宇宙演化过程中对复杂实体的兴起还是起到了至关重要的作用，因为黑洞把星系聚拢到了一起，而此举可能有助于在星系其他的部分创造复杂实体涌现的金凤花条件。

这种处于星系中央部位的所谓超大质量的黑洞虽然不可见，却制造出极其壮观的宇宙焰火，尤其是在星系史的早期。那时候，海量的物质纷纷流向这些超大质量的黑洞，黑洞的能量因此剧增并释放出强大的辐射，强度大约是整个银河系的100~1,000倍。时至今日，这种辐射还能以类星体（quasars，类似恒星的物体）及其红移的形式被观测到，这些类星体大多可以追溯到数十亿年前，而离我们最近的类星体事件可能是在20亿年前发生的。这种类星体，用埃里克·蔡森的话说，是“垂死一族的最后元老”。[11]我们还没有观测到离我们更近一些的类星体事件，据说这是因为宇宙在经历了数十亿年的演化之后，黑洞中心地带的星际气体大多已被黑洞吸收，而一旦吸收殆尽，类星体也就不再发光了。[12]未被吸入黑洞的物质要么聚合成恒星，要么以气体和尘埃云的形式随机飘荡。而上述多个过程的共同结果之一，就是在星系中形成了聚合度高但又多种多样的物质团，散落在太空中。

总之，在宇宙“大爆炸”之后的7亿至20亿年间，星系在引力的作用下突破重重貌似无规律的冲撞聚散，自发地形成了。也只有在这一时期才真正具备星系形成的金凤花条件。星系的涌现导致了宇宙星空的分化：一部分汇聚了大量的物质（构成星系），而另一部分则是愈发空灵的星际空间。宇宙本身的不断膨胀更加剧了上述差异，终至“大爆炸”约20亿年后不会再有任何形式的星系出现。不过从那时起，星系持续存在的条件一直具备。

把宇宙时空分化成有物质和无物质的两个部分对未来宇宙史的演化

至关重要，其中最重要的一点是：这样便造就了一个巨大的熵垃圾桶。[13]因为熵在宇宙史的早期阶段可能已经累积至最大限度，急需一个可以卸载的垃圾场，也只有这样，才能容许更复杂的实体进一步涌现。其根本原因还在于热力学第二定律，定律指出：任何局部或区域秩序的涌现，必然伴随着其他地域产生更多的无秩序。宇宙持续不断膨胀，再加上物质不断冲撞挤压形成恒星和星系，为熵提供了一个去处：要么在星系中，要么在星际空间。这就等于为恒星和行星制造的辐射提供了一个巨大的、极寒冷的化熵池（entropy sink）。要不是因为有这样一个化熵池，更复杂的实体就不会涌现，因为它早已在自身制造的热浪中窒息了。换言之，宇宙演化出一个巨型的熵垃圾桶是更复杂实体出现的一个绝对必要的金凤花需求。

虽然星系的形成在宇宙“大爆炸”之后约20亿年左右便已告终，但星系本身的演进却是一个持续不断的过程。宇宙虽还在持续膨胀，有些星系却完好地保持了自身原有的体积（还有某种程度上自身的外形），但也有一些与相邻星系甚至相邻星系群发生碰撞，因而变得面目全非。由于这类事件的共同作用，我们所观测到的星系在大小上也存在极大的差异，小的仅是太阳质量的几百万倍，大的则是太阳质量的数万亿倍。星系的形状也各不相同，有的呈螺旋状，而有的呈球形。[14]我们身处其中的银河系一般被认为是一个中等的螺旋状星系，但在2007年，由弗朗索瓦·哈默尔（François Hammer）带队的一群法国天文学家提出：银河系事实上非常特殊，因为它在整个历史上从未与其他星系发生过类似融合的现象。这种由宇宙演化带来的宁静为生命的问世提供了绝佳的条件。[15]

总之，由于星系的形成和演进，整个宇宙有了更多的分化。随着时间的推移，星系的出现使得物质和能量的梯阶变得更加陡峻，而这使得新的物质及能流成为可能，为更新、更高水平的复杂实体诞生铺平了道路。与此相反，不断膨胀的星际空间则变得日益空灵、简单。从复杂性不断提升的角度审视这一过程，我们便会看到：在大历史初期，如此大规模的复杂实体渐次形成且变得日趋多样，其原本的建材却不过两种简单的化学元素——氢和氦，这真令人唏嘘不已！而随着时间的推移，今天我们所熟悉的所有的复杂实体都会从这些基本的元素中脱颖而出。

攀登复杂性的金字塔（2）：大的构架

复杂性金字塔的下一个层次是在引力的作用下涌现的，引力在

电磁力聚集了足够的原料后马上就出场了。通过引力的作用，大量的原子和分子继而形成了恒星、黑洞、中子星、行星、月球（卫星）、彗星、小行星及其他天体，或气体和尘埃云。与其他自然力相比，引力相对较弱。但由于引力只吸引而不拒斥物质，所以引力可以变得非常强大，其大小取决于已聚拢物质的多少。因此，要打破这种物质结构所需的能量也有很大的差异，很小的物质结构几乎不要多少能量就可以打破，而巨大的物质结构却需要很多能量。所以说，引力越大，物质结构就越发健硕。星系、黑洞和中子星都非常健硕，而彗星和小行星则相对脆弱一些。

不过，这种复杂实体中比较居中的一类，也就是恒星，却表现出与上述趋势截然相反的态势，这主要是因为恒星内部致密的热核部分有强力造成的核聚变。因为核聚变在压力和温度都较高时会进行得更快，所以较大的恒星反倒不如较小的恒星更长寿，虽然前者内核部分的氢能量储备要大得多。引力效应还会造成更丰富的多样性，虽然没有分子那般多样。在行星和月球（卫星）的表层，引力造成的多样性程度还要高得多，因此为更多新形式的复杂实体——尤其是生命体——涌现创造了良好条件。

恒星的涌现

伴随“大爆炸”后7亿年至20亿年间星系的形成，最初的恒星涌现了。显然，那时候恒星涌现的金凤花条件已经具备。与星系不同，恒星自涌现之日起便一直在形成过程中。恒星的形成条件要比星系简单得多。事实上，只要星系具备足够的原始造星材料——氢和氦，恒星的制造就可以进行下去。因为这种由较轻的化学元素构成的大型云团随着时间的推移在数量上有所减少，恒星的数量也相应地在减少，体积也变得更小。

星系和恒星的涌现本是其组成成分——主要是氢分子和氦分子——重力势能（gravitational potential energy）降低的结果。这种重力势能转化成热能，此后以低水平电磁辐射的形式传导至周围空灵阴冷的太空。所以，虽然局部和区域的复杂度通过星系和恒星的形成得到提高——原则上属于熵降低，但宇宙整体的熵量却增高了。不过，在整个138亿年的宇宙演化史上，这种由星系成形和发光的恒星涌现制造出的光子增量比起宇宙背景辐射就显得微乎其微，前者甚至不及整个宇宙中光子总量的千分之一。[16]虽然低水平电磁辐射增加了宇宙中熵的总量，但此时宇宙中的熵总量却已不是峰值，这主要是因为宇宙不断膨胀的缘故。

复杂实体涌现过程中总会制造熵并排放低水平电磁辐射，而且同时提升光子在宇宙中的数量，这似乎是宇宙演化的一个基本过程。对此，于贝尔·雷弗强调指出[17]：

> 实现组织同时释放光……是宇宙演化的一般原理，在复杂性金字塔的各个层面都适用。原子核、原子、分子、细胞、植物和动物时时刻刻都在利用这一原理。在金字塔阶梯的高端，要实现组织化并非如原子核或原子那般一蹴而就且一劳永逸，而是要存在就必须努力维持。人体会发散出一种红外光；人这架机器要维持运转，就一定会发出相当于100瓦灯泡当量的辐射光。人死了，光也就灭了。

所有这些形式的复杂实体都要使用太阳发出的光子或由此得到的能

才能创造或维持自身的复杂性并同时排放大量的红外光子。不过恒星还有另外一种创造复杂实体并排放熵的机制：恒星能够把物质和核束缚能转化成大量的光子。比如，太阳每秒能够把400万吨的物质转化成能（大致相当于600万辆汽车的重量，即德国大众汽车公司2012年的年度总产量），这等于向宇宙中释放2×10^{45}个光子，也就是一种形式的熵。

我们回过头再接着谈宇宙早期的历史。早期星系形成期间，有大量巨大的恒星涌现，因为那时候密实的原始造星材料随处都是。这一时期被称作“星爆”（star burst）期，因为霎时间，为数众多的巨型恒星开始在太空闪耀，虽然持续的时间不是很长。结果，在宇宙演化最初的几十亿年间，各大星系产生的光比此后各个时段相加的总量还要多。因为伴随时光的流逝，原始造星材料在不断减少，所以恒星形成的概率也降低了。所以当今时代只有很少的恒星得以成形，尤其是较大的恒星更是稀少。

制造恒星的原料是在引力影响下最初收缩，继而塌缩的氢、氦云团。埃里克·詹奇曾对这一过程做如下小结[18]：

> 根据简单的冷凝模型（Steinlin，1977），可以把恒星想象为是这样形成的：在引力的作用下，星际物质会在10~100K的温度时凝结成多个原始星云。恒星通常是在星团中诞生的，尤其是直径为20~400光年的壮观的球状星团。除了球状星团外，还有直径为5~30光年的开放星团。具体就太阳而言，原始星云甚至超出了冥王星运行的轨道。当这样的原始星云的最小密度达到每立方厘米10^{-13}克时，它就会以自由落体的速度塌缩。据估计，太阳在10年内就从相当于冥王星轨道大小收缩到相当于水星轨道大小。如此快速的收缩造成压力和温度的急剧大幅提升。因此，就重新产生了相当于宇宙早期的条件，只是此时的条件更有利于较重原子核的合成。宏观进化成了已停滞的微观进化的助推器。

氢、氦云团走向塌缩并继而形成恒星有多个不同的理由。首先，塌缩有可能是自发发生的，即云团发生随机碰撞，而碰撞导致云团物质积聚变大。而一旦此类云团的密度达到一定程度且引力足够强，就足以把物质拉到一起形成恒星。但也有可能是某种外部力量的触发——比如较大的恒星诞生，来自外部的巨大能量使周围较轻的化学元素迅速致密到一定程度，然后引发了造星的连锁反应。[19]此外，行将毁灭的恒星发生大爆炸也会把松散的物质聚拢到一起，然后在引力的作用下实现物质的

致密。但无论如何，是能流过物质最终造成复杂星体的涌现。

渐成中的恒星一旦变得体积和密度都足够大，核聚变的金凤花条件很快就会具备。恒星内核受引力作用会产生极大的压力，压力把氢核挤压得非常紧密。与此同时，恒星收缩释放的引力能把内核的温度提升到极高的程度，从而引发核连锁反应，把4个氢原子核熔炼成1个氦原子核。在这一过程中，只有极少量的物质转化成能量，而基本粒子在原子核内的重新排列也会释放出能量。这种核聚变反应是两种自然力相互作用的结果：强力把重的基础粒子（重子）拉到一起，电磁力把带相同电荷的粒子彼此推开。因为氢原子核（主要是质子）带正电荷，所以需要很大的压力才能克服电磁力的影响把质子拉到彼此足够近，使强力能够起作用，因为强力只有在非常短的距离内才能发挥作用。

核聚变的金凤花条件发端于刚刚形成的恒星深层内核，起因是引力将物质强力压缩并加热到足够温度。接着，基本粒子在强力的作用下彼此互动，终至形成氦原子核，后者由2个带正电荷的质子和2个中性的中子组成。在不太严格的情况下，中子可被看作是不带电荷的质子。在这一过程中，质子释放出正电荷——也就是正电子（反电子）——而蜕变成中子。

在这种情况下，把质子和中子拉到一起的强力要胜过电磁力，因为中子呈中性，不受电磁力影响，所以实际起到了一种聚合原子核的作用。与此同时，质子释放出的正电子与电子迅速结合，彼此抵消并转化成能。因此，恒星内核处的氢核聚变在制造氦核的同时释放出能量[20]，这一能量旋即被排放到恒星的表面并由此进入太空，主要是以电磁辐射的形式。这一过程相当缓慢。比如在当今时代，太阳内核释放的能量要抵达其表面可能需要1万至17万年（对此的估算有很大差异）的时间。

这就是说随着时间的推移，恒星会把氢转化成氦，因而使原初的氢越来越少，并同时以电磁辐射的形式制造熵。不过迄今经历了138亿年的宇宙演化，还只有5%的氢被转化成了氦，而且由上述可知，其同时排放的熵也不过是添加了极少许的电磁辐射，也就在整个宇宙中光子总量的千分之一。

恒星内核处具备的有利核聚变的金凤花条件与前述辐射期的条件非常接近。这就引出了一个极深刻的话题，即标志早期宇宙史的客观条件在当今的恒星——包括太阳——上依然存在，二者的主要差异是，早期宇宙大致是均质的，而当今的恒星及周边环境则不然。换言之，早期宇宙史上金凤花条件普遍存在，但持续时间较短，而在当今，整个宇宙间存在核聚变金凤花条件的地点只是恒星的内核，只是宇宙空间很小的一

个部分。此外还有另外一个主要差别：早期的宇宙变化特别快，根本没有多少时间容许核聚变真正发生，而现今的恒星，哪怕是寿命最短的恒星，其核聚变的金凤花条件也要比前者长得多。所以，恒星成了在较小范围内制造更复杂实体最主要的核熔炉，而星际空间的宇宙垃圾场又能容许恒星倾卸自身制造的熵，这样，复杂实体就能够维持下去。

恒星为什么是这样，而不是直接塌缩而后变成中子星和黑洞呢？首先，恒星的金凤花边界比较低，这样低的边界不容易发生塌缩。在行星——比如地球——上，所有的物质都加起来也不足以让重力战胜电磁力。要真是那样的话，我们人类也就不会问世了。但有人会问：既然所有的恒星都比地球大，那它们自身的重量为什么不会引起塌缩呢？显然，这里有某种力量在阻止塌缩。这种力量正是恒星内核处核聚变产生的外向压力，是它在抗衡引力。这两种力量相互抗衡的结果，就是恒星变成了一种动态稳态体系，而且只要核燃料还足够用，就会继续保持这样的状态。究其实质，依然是能流过物质在维持恒星本身的复杂性，使其不至塌缩成为高密度、低复杂度的实体存在。

正如同早期宇宙的快速膨胀阻止了化学元素转变成最稳定的铁元素一样，恒星内部的核聚变——其实是上述过程的某种延续——延迟了恒星本身在引力的作用下蜕变为最稳定的黑洞。对此，于贝尔·雷弗是这样说的[21]：

> 晴空的夜晚，当我们仰望闪烁的繁星，看到群星发散出五颜六色的光子，我们实际上是在目睹延迟的核力量如何阻止了引力把凡物冻结。

恒星身上强力与引力的这种微妙平衡造就了更为复杂实体生发的可能性。当然了，这一过程总免不了熵增的代价。

就这样，恒星成了最早的能够自我调节的实体结构。其工作原理如下：引力的缩压造成恒星内核温度增加，从而加速了核聚变。核聚变释放出更多的能量，致使恒星膨胀。而恒星的膨胀使其自身温度下降，从而减缓了核聚变的进程。这样，恒星释放的辐射量就减少了，所以继续缩压。正是这种负反馈循环使恒星变成一种具有自我调节能力的动态稳态体系，只要核燃料还没有最终耗尽，就会持续维持自身的复杂性。[22]

恒星自最初形成以后，便不再需要从外界获取物质和能量以维持自身的生存，条件是引力持续施压、核聚变持续进行。这一点与生物不

同：凡生物都必须持续不断地从外界提取物质和能量才能维持自身的生存，而恒星则不需要，后者只要引发核聚变就可以持续不断地发光了。

恒星的大小也是有一定的金凤花幅度要求的，最小的只有太阳质量的1%，最大的则是太阳质量的200倍左右。[23]如果再小，那氢、氦簇团就不会引发核聚变，因为引力造成的压力不够，而且初始形成中的恒星往往体积很大，不会因自身的重量塌缩为黑洞。如果恒星过大的话，那么核聚变的速度也会很快，所以只能存在相对很短的一段时间。最大的恒星只能存活12,500年左右。正因如此，早期形成的超大恒星早已不复存在了，而其附近的巨型恒星肯定都是新近形成的。相比之下，小型的恒星消耗燃料的速度很慢，所以，最小的恒星能够存在1.6兆年。也就是说，时至今日，无论其是何时形成的，所有的小恒星都还处于幼年时代。究其根源，大小恒星在寿命上的差异还是大恒星燃氢化氦的速度比小恒星快，大恒星虽然储备的燃料更丰富，但其燃烧的速度要快得多。

因为大恒星比小恒星核聚变的速度要快，所以其功率密度要大很多。但是大恒星是否一定复杂度更高，这一点我不是很清楚。以下观点是值得考虑的：小恒星需要的能流相对较少，却能达到相当的复杂程度。若仅从这一点考虑，那么小恒星当然比大恒星更节能。

按照埃里克·蔡森的观点，从长远看，宇宙演化是一种非随机消除（nonrandom elimination）的过程，那些体积较大、耗能过快的恒星之所以被消除就是因为它们存在的时间相对较短。[24]这就等于说：小恒星活得长，自然是胜者了。不知这样说是否合适：即使在宇宙演化的过程中，节能也是能够存活下来的重要长项。我们后文还会讲到这个问题。

在宇宙演化的叙事中，埃里克·蔡森更喜欢使用“非随机消除”一词而不是“自然选择”或“物竞天择”（natural selection），因为自然界没有所谓选择者。“非随机消除”一词是美国生物学家恩斯特·迈尔（Ernst Mayr，1904—2005）最先提出的。[25]蔡森有关宇宙演化的观点比查尔斯·达尔文和阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士有关生物界“自然选择”规律的概念更宽泛一些。与生命体不同，恒星没有所谓家族世代相继并争夺有限的资源。此外，恒星也不会积累信息或知识以更好地适应不断变化的环境。还有一点不同于生命体，恒星和星系虽然也复杂，却不会适应。

作为核熔炉的恒星

如前所述，在星系和恒星形成的早期，宇宙中存在的元素几乎只有氢和氦。因此，早期恒星的原料组块也差不多只有这些了。如果恒星还携带行星的话，那么行星的原料组块也不过是氢和氦。甚至到了今日，太阳系中行星的原料基本还是这样，尤其是较大的行星，如木星、土星、天王星和海王星。所以这些行星也没有多少复杂性的迹象，这并不令人奇怪。但太阳系中还有4个相对较小的近日行星，包括地球，这些小行星的原料组块包括大量的重元素，如碳、氧、镁、硅和铁。这些更复杂的重元素来自何方？又有多长时间的历史？前一个问题的答案很简单：来自核合成（nucleo-synthesis），就是恒星内部熔炼出来的新元素。但要回答这些重元素在宇宙中究竟存在了多久，就不那么容易了。

核合成过程的工作原理如下：恒星在内核处熔氢炼氦必然导致主燃料氢的减少、氦的增多。相对较大的恒星在燃尽了所有的氢元素之后，无情的引力会使恒星内核的温度提升至10^8以上，而这正是新的核聚变的金凤花条件：氦经核聚变转化成了更重的元素，如氮、碳、氧。氦元素燃尽之后，如果恒星还足够大，那么其引力缩压还会使内核温度升高，进一步造成更重化学元素生成的金凤花条件，这样一直到铁元素。如前所述，铁是所有化学元素中最稳定的，因此也是中型恒星所能制造出来的最终的元素。此类条件持续的时间相当长，所以恒星有足够的时间生成这些更为复杂的原子核。

较大的恒星在其生命的末期——可能持续数千年之久——通过中子俘获（neutron capture）的过程可以合成更重的化学元素，制造出铜、锌、银、金等元素。这一过程结束之后，恒星再也没有核燃料可用了，对抗引力的能流就此式微，于是质量极高的恒星会迅速塌缩并释放大量能量然后爆炸，貌似一个巨大的火球，即所谓的“超新星”。而这种超新星的爆发又创造出了新的金凤花条件，使得目前所知的最重的稳定的化学元素得以涌现，一直到铀元素。因为这种新的金凤花条件持续的时间较短，所以最重的化学元素比较稀少。

我们很难弄清上述过程究竟持续了多久。因为重元素相对稀少，所以很难在昏暗的、古老的光线下被发现。不过，在星系形成的早期，已有很多大的恒星很快地自生自灭了。这些巨型的恒星很有可能已经熔炼

出较重的化学元素，其爆炸释放出的巨大能流可能摧毁了大多数——甚至是所有的——附近业已形成的复杂实体。不过巨大的爆炸还把新近形成的重元素抛洒到附近的星系空间。这样，后来形成的二代和三代恒星就拥有了更丰富的重元素原料，对宇宙演化的进程可谓贡献巨大。另外，还有学者认为相当数量的金元素或者其他重元素是在中子星碰撞的过程中涌现的。

星际空间的温度相对不是很高，所以具备使化学元素合成简单分子的条件，比如水，水由氢和氧组成，其中还包含由硅、氧和金属合成的硅酸盐，以及一些小的有机分子，包括简单的氨基酸，是蛋白质不可或缺的组成成分。这些实体的涌现必然伴随着以电磁辐射形式呈现的宇宙中的熵增。这样，大自然的建筑工具包又丰富了，有了越来越多也越来越脆弱的各种化学组块。这一过程可能发生在距今100亿年左右，甚至更早。因此，布满岩石的行星——也许还有生命——形成的金凤花条件可能在这一时期就已经形成了。

参考文献

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York, The Free Press.

Barrow, John D. & Tipler, Frank J. 1986. The Anthropic Cosmological Principle. Oxford, Oxford University Press.

Bartusiak, Marcia. 2010. The Day We Found the Universe. New York, Vintage Books.

Bureau International des Poids et Mesures. 2006. The International System of Units (SI).

Organisation Intergouvernementale de la Convention du Métre. www.bipm.fr/en/ home. Chaisson, Eric J. 2001.

Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, Mass., Harvard University Press. Chaisson, Eric J. 2003. ‘A unifying concept for astrobiology.’ International Journal of Astrobiology 2, 2 (91–101).

Chaisson, Eric J. 2006. Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos. New York, Columbia University Press.

Chaisson, Eric J. & McMillan, Steve. 2008. Astronomy Today, 6th edn.

San Francisco, Pearson Addison Wesley.

Chown, Marcus.2005. 'Did the big bang really happen?' New Scientist issue 2506, 2 July (30).

Chown, Marcus. 2007. 'Rival theory fights back against dark matter.' New Scientist issue 2623, 27 September (12–13).

Chown, Marcus. 2008. 'Land of the rising suns.' New Scientist issue 2670, 23 August (40–3).

Chown, Marcus. 2009. 'O others, where art thou?' New Scientist issue 2722, 22 August (37–9). Delsemme, Armand. 1998.

Our Cosmic Origins: From the Big Bang to the Emergence of Life and Intelligence. Cambridge, Cambridge University Press. Gehrels, Tom. 2007.

Survival through Evolution: From Multiverse to Modern Society. Charleston, S.C., Book Surge Publishing. Gehrels, Tom. 2009. The Cosmological Foundation of Our World, Seen in a Revised History of our Universe. http://arxiv.org/abs/0912.5362.

Getman, Konstantin V., Feigelson, Eric D., Luhman, Kevin L., Sicilia-Aguilar, Aurora, Wang, Junfeng & Garmire, Gordon P. 2009. 'Protoplanetary disk evolution around the triggered star-forming region Cepheus B.' Astrophysical Journal 699 (1454–72).

Hammer, F., Puech, M., Chemin, L., Flores, H. & Lehnert, M. D. 2007. 'The Milky Way, an exceptionally quiet galaxy: Implications for the formation of spiral galaxies.' Astrophysical Journal 662, 1 (322–34).

Jantsch, Erich. 1983. The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution. Oxford & New York, Pergamon Press (1980).

Lerner, Eric. 2004. 'Bucking the big bang.' New Scientist issue 2448, 22 May (20).

Levy, David H. (ed.). 2000. The Scientific American Book of the Cosmos. New York, St..Martin's Press & London, Macmillan.

Rees, Martin. 1997. Before the Beginning: Our Universe and Others. London, Simon & Schuster.

Reeves, Hubert. 1986. L’heure de s’enivrer: L’univers a-t-il un sens? Paris, éditions du Seuil.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Sharma, Ajay. 2004. ‘Origin and escalation of the mass-energy equation ΔE = Δmc2, General Science Journal. www.wbabin.net/ajay/sharma3.pdf.

Shiga, David. 2006. ‘Gravity: Were Newton and Einstein wrong?’ New Scientist issue 2549, 29 April (52).

p l (52). Shiga, David. 2007. ‘Supernova shift may distort dark-energy readings.’ New Scientist issue 2625, 13 October (14). Weinberg, Steven. 1993. The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe. London, Flamingo (1977).

推荐阅读书目

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York, The Free Press.

Bartusiak, Marcia. 2010. The Day We Found the Universe. New York, Vintage Books.

Bryson, Bill. 2003. A Short History of Nearly Everything. London, Random House.

Chaisson, Eric J. 2006. Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos. New York, Columbia University Press.

Kraus, Lawrence M. 2012. A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather than Nothing. New York, Atria Books.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Weinberg, Steven. 1993. The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe. London, Flamingo (1977).

[1] 目前，我们有关宇宙演化的叙述都是基于几个世纪以来的天文观测和借助科学观念对其做出的解析，且这里的科学观念本身是从大量的围绕我们地球家园的自然科学研究中衍生出来的。所有这一切对我们更好地理解宇宙史提供了强大的工具。迄今，围绕早期宇宙史已有不少专著问世。本书的相关叙述主要是基于以下著述：史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）的《宇宙最初三分钟》（The First Three Minutes, 1993）；埃里克·詹奇的《自组织的宇宙观》（The Self-Organizing Universe, 1983）；埃里克·蔡森的《宇宙演化》（Cosmic Evolution, 2001）及《宇宙演化的史诗》（Epic of Evolution, 2006）；埃里克·蔡森与史蒂夫·麦克米伦（Steve McMillan）合著的《今日天文》（Astronomy Today, 2008）；大卫·李维（David Levy）的《科学美国人的宇宙之书》（The Scientific American Book of the Cosmos, 2000）；以及阿尔芒·德尔塞姆（Armand Delsemme）的《我们从宇宙

中走来》（Our Cosmic Origins, 1998）。埃里克·蔡森的“宇宙演化”网站非常有用，可参阅其官方网址：www.cfa.harvard.edu/~ejchaisson/cosmic_evolution/docs/splash.html。玛西亚·巴图夏克（Marcia Bartusiak）的《我们发现宇宙的那一天》（The Day We Found the Universe, 2010）对现代天文学史做了精彩叙述。

[2] 根据国际计量局出版的小册子《国际单位制》（The International System of Units, 简称SI，2006，第113页），“秒”被界定为铯 -133原子基态的超精细能级之间的跃迁所对应的辐射的9,192,631,770个周期所持续的时间。据说其辐射振荡的频率从未随时间而发生改变。“秒”可谓人类一直在使用的最古老也是最直觉的计时单位之一，因为一秒大致相当于正常男子在安静状态下两次心跳之间的时长。

[3] 直到今天，人类还未能发现地球上有任何暗物质存在。不过根据有关其他星系运动的界说，暗物质似乎与普通物质混搭在一起。现有的少量有关银河系伴星系（satellite galaxies）的观测对暗物质理论也构成了问题，参阅Chown（2009）。此外还有一个非常有名的另类理论，叫作修正的牛顿引力理论（MOND），可参阅Shiga（2006）和Chown（2007）。

[4] 有关暗能量的综述，参阅Shiga（2007）。故此，这里的叙述还只是相当初级的。不过埃里克·蔡森曾经说过，尽管未来有关宇宙年龄的计算可能建立在新的洞见之上，但这里所述的有关事件发生的顺序恐怕不会有大的变化，参阅Chaisson（2001）, pp. 98-99。有关“大爆炸”宇宙论可能存在的一些问题，可参阅Chown（2005）和Lerner（2004）。

[5] “辐射期”一词借自埃里克·蔡森的说法。我还不清楚是谁第一个强调早期宇宙从辐射主导过渡到后来物质主导的重要性的。史蒂文·温伯格在《宇宙最初三分钟》（1993，第80页）中曾提到过这一点，但却未做详细阐释。虽然人们常把质能公式E=mc^{2}完全归功于爱因斯坦的天才，但根据印度物理学家阿杰伊·夏尔马（Ajay Sharma，2004）的说法：“在爱因斯坦之前，在众多的物理学家之中，至少有艾萨克·牛顿、英国的S.T.普雷斯顿（S.T.Preston）在1875年，法国的彭加勒(Poincaré)在1900年，意大利的德·普莱托（De Pretto）在1903年，德国的弗雷德里希·哈瑟诺尔（F. Hasenöhrl）对E=D mc^{2}的猜测和推导做出重要贡献。爱因斯坦之后，普朗克曾独立推导出E=mc^{2}公式。据说，J.J.汤姆逊（J.J.Thomson）1888年也曾从麦克斯韦方程组中预见到E=D mc^{2}公式。”

[6] 有关这一时段的记述，最有名的要算史蒂文·温伯格的《宇宙最初三分钟》（1993）。温伯格后来曾说过，这本书更准确的题目应该是《宇宙最初3¾分钟》（第110页）。数十年来，天文学家们一直在思考：为何这三种力及其自然常数会取我们今天所观测到的值呢？这个问题很重要，因为若不其然的话，更复杂的物质体系不可能会最终形成。时至今日，依然没有人能够解释为何这种力及其常数会以那样的方式涌现。英国天体物理学家布兰登·卡特甚至在1973年由此提出了人择原理的观念，紧接着，英国天文学家约翰·巴罗和弗兰克·蒂普勒（1986）又提出了两种变体：弱人择原理和强人择原理。弱人择原理称：若自然常数不是这样，我们就不可能由此观测它，而强人择原理更是蕴含了这样一种观念，即早有某种初始的条件限定了我们的宇宙，包括宇宙常数，使其只能成为现在这个样子。只不过迄今为止，还没有人知道这些所谓初始的条件究竟是什么。如果自然常数纯属偶然机遇所致，那么人们就有理由设想除此之外还有其他宇宙存在，而其他宇宙的常数也有所不同。

由是便有了下述猜测：我们生存于其中的宇宙只是众多宇宙中的一个，合称所谓“多重宇宙”（multiverse），而且各自以自己的方式演化。当今时代，英国皇家天文学家马丁·里斯爵士（Sir Martin Rees）是这一观念的主要倡导者（1997）。不过不幸的是，我们并没有任何直接的证据说明还有其他的宇宙存在，而且在我看来，我们永远也不可能得到这样的证据，因为就原始界定而言，我们所能观测到的一切只能属于我们自己的宇宙的一部分。

此外，围绕多重宇宙还有另外一种说法。数十年前，印度裔美籍天文学家萨布拉曼扬·钱德拉塞卡（Subrahmanyan Chandrasekhar，1910 —1995）曾提出：如同光一样，物质似乎也有量子的特性。这就是说，能量和物质都不是连续性的，而是由许多离散的步骤组成。就物质而言，我们迄今认识到的有原子核层面、原子和分子层面、日常物体层面（从细菌到岩石到人类本身）、太阳及行星层面、星系层面、星系团以及整个“可观测到的”宇宙。所有这些层次之间都存在巨大的间隔。2007年，荷兰裔美籍天文学家汤姆·格雷尔斯（Tom Gehrels，1925—2011）提出：在所有这些质量量化的体系中似乎有某种清晰的数学模式存在。如果格雷尔斯的说法正确的话，那么，根据总体趋势推断下一个层次——也就是一系列的宇宙，我们或许就能得到可能的多重宇宙的间接推断数据（2007 & 2009）。因为依照定义，所有直接观察所能得到的只能是关乎我们自身宇宙的事物，所以要得到其他宇宙的直接观测数据是不可能的。因此，所谓多重宇宙的任何证据都只能说是间接的。虽然这种种猜测可能都很有趣，但在大历史的叙事中，我们将不考虑多重宇宙会起什么作用。

[7] Chaisson (2001), pp. 110..

[8] Jantsch (1983), pp. 82-89. 我觉得使用“宇宙协同进化”可能比仅称“协同进化”更妥当一些，因为这样就可以区分不同类型的“协同进化”，尤其是生物协同进化。

[9] 天体物理学家计算辐射的能含量要借助马克斯·普朗克著名的E=hν公式，而要计算物质中的能含量就要用E = mc^{2}公式。

[10] Chaisson & McMillan (2008), p. 735.

[11] Chaisson’s Cosmic Evolution website, page ‘First stars.’

[12] 围绕类星体目前还存在很多争议，这里恕不详述。读者可参阅Chaisson & McMillan（2008），pp. 670.。

[13] Chaisson (2001), p. 126.

[14] 所有已知的星系都已存在了数十亿年，而人类记录天体的历史却不过五千年。人类的历史与星系的历程相比简直微不足道，所以人类迄今还未曾观测到任何一个星系的演变过程。故此，人类有关星系的历史记述都是依据大量有关星系的形象重新绘制的，人们认定星系从130亿年一直持续到今日（我们的银河系）。所有有关星系的形象都从属于星系演化的不同时代。恒星的状况与此类似，其实大多数恒星比人类的历史也要悠久得多。比如在我们的银河系，天文学家往往借助所谓不同时代恒星发出的光来从事研究。

[15] Hammer, Puech, Chemin, Flores & Lehnert (2007).

[16] Reeves (1991), p. 80.

[17] Reeves (1991), pp. 72-73.

[18] Jantsch (1983), p. 89.

[19] 参阅Getman, Feigelson, Luhman, Sicilia-Aguilar, Wang & Garmire (2009)。

[20] 恒星内部的核聚变过程事实上比这还要复杂一些，可参阅Chaisson & McMillan（2008），pp. 439.。

[21] Reeves (1991), p. 106.

[22] Jantsch (1983), p. 91.

[23] 有关太阳的广为接受的一些数据是：质量为2×1030千克，光度为4×1026瓦，半径为7×108米。

[24] Chaisson (2001), pp. 148..

[25] Chaisson (2001), p. 150 and p. 240.

第四章
人类在宇宙中的邻居：更复杂实体的涌现

本书欲从深邃的太空和最遥远的星云之端开始讲起，由此逐步过渡到繁星闪烁的银河系，其中包括太阳系和我们自身生活于其上的地球及环绕地球的大气和海洋，其间会谈到外形、温度和磁性张力，还要探讨在各色光影的作用下五花八门的生物如何在地球上涌现繁衍。

——亚历山大·冯·洪堡：《宇宙》（1997）第一卷，第79—80页；原文见德文版（1845），第80页。

引言

众所周知，我们在宇宙中的邻居——太阳系——恰好有适合生命存在的条件，至少在其中的一个行星上，也就是我们的地球老家。我们不知道地球上的生命体和文化是否非常独特，还是在宇宙中的其他什么地方也有类似的生命体和文化。这主要是因为高度复杂的实体都非常小，因此从远距离很难发觉到。生命体和文化比恒星有更大的功率密度，但其能流要比星体的巨量产出小太多了。也正因此，哪怕是在我们的银河系可能有生命体或文化存在，其发散出的辐射也很难察觉。生命体的累积效应（accumulated effects），比如富含氧气的行星大气层[1]，以及文化的某些集体效应（collective effects），比如较突出的有无线电、电视机和手机发射出的电磁辐射，可能比较容易被发现。不过要放到星系尺度——还不用说宇宙尺度，这种效应就真的太小了。因此，凭我们现有的探测技术，似乎不可能发现我们宇宙邻居中是否有生命体和文化的迹象。也许在未来的某个时刻，科学家们有可能在火星或环绕木星甚至土星运行的卫星上发现生命的迹象。但在今天，我们只能说地球是宇宙中唯一有生命体和文化存在的地方。[2]

如果宇宙其他什么地方有生命存在，那这种生命体很可能早于地球上的生命。生命所需的重化学元素可能在120亿年前就已经出现。考虑到星系为数众多——在已知宇宙中可能有1,000亿之多，而且每个星系有差不多1,000亿颗恒星——生命和文化在其他什么地方涌现的概率还是蛮大的，而且很可能比地球上的生命和文化要早得多。还有，从宇宙的尺度看，我们甚至不知道生命是否只是通向更高复杂存在的一个台阶。也许在茫茫宇宙中早有某种形式的复杂存在在那里，只是我们现在还无力探测到，甚至还无法想象。[3]故此，我们讨论地球上生命和文化涌现的大历史必然是以太阳系为重点，以地球为中心。[4]

大多数科学家研究太阳系、地球和生命，是以在金凤花边界之内能流过物质究竟创造还是毁灭复杂性为线索分析数据的，这一点不令人奇怪。但据我所知，迄今还没有人使用相同的概念明确系统地描述人类在宇宙中的这一邻居是如何涌现的。[5]

太阳系外的行星与天体生物学

太阳系外的行星（exoplanets或exosolar planets）是指围绕太阳之外的恒星运行的行星。直到20世纪90年代，人类还只知道太阳系有几颗行星。此后，由于改进了望远镜，人类的探测技术又有新的提高，所以后来发现了许多太阳系外的行星。截至2014年6月，人类已发现1,800颗太阳系外的行星，围绕着大约1,100颗恒星运行，此外还有很多至今还没有得到确认。

探测太阳系外的行星主要有两种方法。第一种是仔细观察恒星的位置。如果恒星有规律地稍稍摇摆，就说明有颗较大的行星在环绕运行并发出牵引的力量。这种行星通常小到我们还看不见，但天文学家却可以通过其引力效应测定它的位置和质量大小。不用说，这种技术更适用于像木星那般大小的行星。所以毫不奇怪，首批发现的都是这种大块头的行星，其运行轨道通常离母恒星较近，因为这样会产生最大的引力效应，因此也最容易被人类发现。伴随观测技术的改进，用这种方法还发现了不少小一点儿的行星。

第二种发现行星的方法是长时间紧盯着恒星，直到某个时刻有行星从其前面经过，这样就会暂时挡住恒星朝我们发射过来的光线。这种变化会被人类察觉到，从而得到了恒星体积、行星轨道的线索。用这种方法发现较大恒星的概率也很大。还有一种更微妙的探测技术，就是寻找恒星经过行星大气层时本身的光线可能发生的变化，这样又得到了行星大气层的相关信息。目前找到的行星只有少数几个和地球的大小相当，但没有一个与我们的地球老家相似。究其原因，要么是现有的探测技术只适用于地球以外的行星——这极有可能，要么是我们这个太空中的大绿洲从星系的视角看来格外不同寻常。准确地说，差不多迄今发现的所有太阳系外的行星离我们都不过100光年的距离，而这只是银河系非常小的一部分。事实上，银河系可能有数千亿颗行星，包括那些不附着任何恒星的行星。

天体生物学的目标是在宇宙的其他地方寻找各种能够证明生命存在的证据。而在具体的实践中，天体生物学搜寻的范围只限于银河系。天文学家们在电磁频谱中寻找有关有机分子、氧气含量高的大气层或液态水迹象的信号。所幸的是，在上述所有方面，天文学家们都有所斩获。我们已经知道，简单的有机分子在银河系的其他地方大量存在，所以有人据此猜测：在地球上的生命涌现之前，这

种有机分子一度大量地从天而降，从而极大地丰富了地球表面的生命组块。

不过在月球和火星，虽有人类进行的相当壮观的太空探索，至今却从未发现任何生命的迹象。美国在20世纪70年代发射了海盗号火星着陆器，其发回的信号声称可能发现那里有生命迹象，可如今这些信号已遭到质疑。还有，一度被认为是从火星降落到南极洲的陨石也表明，火星上即使有也不过是一些极其简单的生命形式。但所有这一切都还颇多争议，有相当多的研究者不愿接受这样的观点。迄今，人类尚未在宇宙的其他地方发现有生命体的存在。

银河系中的生命适宜带

我们的太阳系在银河系中的位置特别适合生命在地球上涌现。这一区域被称作“银河系中的生命适宜带”，大约在80亿年前就形成了。在此之前，超新星爆炸事件太多了，即使有生命存在也会彻底扑灭，而此后又过了30亿年，太阳系才诞生。这就意味着生命在我们的宇宙邻居诞生之前，可能在银河系生命适宜带的许多地方已经开始演进。

根据澳大利亚天体物理学家查尔斯·林尼韦弗（Charles Lineweaver）、益西·芬纳（Yeshe Fenner）和布拉德·吉布森（Brad Gibson）的说法，“银河系中的生命适宜带”有“复杂生命四个不可或缺的前提条件：有一个主恒星，有足够的重元素以造就有地面的行星，有足够的时间供生物进化以及没有超新星扑灭生命的环境”。[6]基于上述标准，这一适宜带被确定为距银河系中心约23,000光年至30,000光年的一个环形区域。这里的恒星大多是在距今80亿年至40亿年之间形成的，也就是说其中有75%的恒星要比太阳的历史更悠久。因为银河系的半径大约为50,000光年，银河系中的生命适宜带距离银河系中心约有其半径的一半。但银河系中绝大多数的恒星都离银河系中心比较近，因此，仅就银河系中物质的聚集程度而言，银河系中的生命适宜带实际上还是比较靠近银河系的外端。上述天体物理学家这样论证道[7]：

> 因此，金属丰度（metallicity）总有一个金凤花适宜区（对天体物理学家来说，金属是所有比氦更重的化学元素）：金属丰度过低，行星上的土质表层就无法形成，而金属丰度过高，巨型行星就会破坏掉有表土层的行星（因为金属有朝中心恒星内部趋近的趋势）。……早期密集形成期的恒星向星系中央的趋近为生命提供了必不可少的重元素，但此时超新星的频繁爆发也非常危险，且前后持续了数十亿年。在拥挤的中央隆起与荒芜的外部星系之间，一个适宜居住的区域出现在大约80亿年前（距星系中心68%的区域），且伴随金属丰度向星系外部扩展及超新星爆发频率的降低呈扩张的趋势……我们发现，在所有适合复杂生命居住的恒星中约有75%都比太阳的历史更悠久，平均年龄比太阳高出约10亿年……其他重要因素……包括分子云团的蚌蚀频率（frequency of grazing impacts

with molecular clouds）、恒星轨道的曲率及其在多大程度上靠近共转圈（corotation circle）、对星爆的感应度以及早期银河系的核心区域是否有一个活跃的星系核。

越是靠近星系中心，超新星爆发的概率相比外端就越高。不过超新星爆发虽然对可能形成的生命体构成严重破坏，但也同时制造出生命赖以形成的重化学元素。越靠近星系的边缘地带，这种重元素就越稀少，因为这里超新星爆发的事件少得多。所以说银河系的外端有一个生命诞生的金凤花边界。由于随着时间的推移超新星爆发总体上有下降的趋势，且重元素在整个星系渐趋扩散，所以适合生命存在的金凤花边界也在扩展，既朝星系中心的方向，也朝向星系的边缘地带。

银河系大致呈扁圆的结构，长长的臂膀伸向太空。显然，银河系的外端处于其臂膀的尽头附近。但如果从我们居住的地方沿银道面（galactic plane，我们距离银道面差不多有20光年）上下丈量，同样会发现人类相当靠近银河系的外端，而在银河系中心，上下端的距离不超过1,000光年。也就是说，与完全球状的星系相比，我们周围恒星较少，很少会出现超新星爆发、毁灭生命的现象。这一点曾使人怀疑：是否扁平的星系要比球状星系更适合生命存在。

在银河系中的生命适宜带，适合生命涌现的金凤花条件还有一些制约因素。首先，如果位居太阳系中心的恒星过大，恒星燃烧的速度就会非常快，因此就不会容许环绕其运转的行星有足够的时间让生命在上面进化。当然，位居太阳系中心的恒星也不能太小，因为这样就无法提供足够的能量让生命维持下去。此外，行星上是否会有生命诞生还取决于行星与太阳系中心恒星的距离，以及生命体是否会使用恒星之外的其他能源。如果生命体需要使用来自恒星的能源才能维持，那么太阳系中心恒星释放出的电磁辐射自然是越少越有利于生命存在。还有，大多数恒星是成对演化的，也就是所谓双星（double stars）。显然，环绕此类双星运转的行星轨道会非常不稳定，因此，行星从此类恒星得到的能流也有很大差别。这会造成复杂生命难以进化，虽然也不是完全不可能。[8]但总的来说，复杂生命在单星附近成功进化的概率要高得多。

人类在宇宙中的邻居的涌现

早在1755年，哲学家伊曼纽尔·康德就曾提出太阳和行星是从旋转的尘云团中在引力的作用下涌现的，后来又演化成扁平的环形。大多数的物质最终会流向中部形成太阳，而剩余的物质则会凝聚成行星、月球（卫星）、小行星、彗星等，后者均环绕太阳运转。[9]换言之，是引力提供的能流把松散的、旋转的物质云团塑造成如今的太阳系。

这不禁令人疑惑：那为什么最初会有这种旋转的尘云团呢？最普遍接受的理论认为，大约46亿年前，有一颗超新星在银河系中的生命适宜带附近爆发。超新星爆发制造出了我们今天在地球上所见的放射性元素，比如铀。与此同时，超新星爆发的冲击波使松散的尘云团聚到了一起，并由此创造了太阳系形成的金凤花条件。换言之，仅一次性颇为壮观但为时甚短的能流过物质的事件就可以触发太阳系的形成。因为缺少必要的数据，我还无法计算出这样一次事件的功率密度。[10]我们今日所见的化学元素中有99%聚到一起形成了太阳，其中的71%为氢，27%为氦，只有很少的一部分聚合成环状，大致均匀地分布在太空中。这种环状物既有轻元素，又包含重元素。随着时间的推移，其中的重元素——主要是铁，还有一部分镍，以及其他更重的元素，一直到铀——累积而形成了行星的内核。而较轻的化学元素，如硅、氧、铝、镁、钾，还有一些铁、碳和氢，则覆盖在内核之上，形成了一个固态、液态或气态的中间层，具体视情况而定。如同最初星系和恒星的形成过程一样，太阳和行星的涌现也是重力势能减弱化作热能的结果。热能代表的是无可避免的熵，也是太阳系涌现、变得更复杂必须付出的代价。其后，热能被辐射到周围阴冷空灵的星际空间。

靠近正在涌现的太阳的地方相对比较热，因为太阳会发光。因此之故，最轻的处于悬浮状态的化学元素氢和氦被推到太阳系的边缘地带，而较重的化学元素则凝聚成正在形成中的行星。大约过了一亿年的时间，上述过程终于造成了岩石密布的四颗近日行星的出现，即水星、金星、地球和火星。而太阳系更靠外端的地方要冷得多。这使得较轻的化学元素氢和氦也大量汇聚成主要由气体构成的巨大行星，即木星、土星、天王星和海王星（其实这些行星也如同遍布岩石的近日行星一样，都有一个由较重元素组成的内核）。

此后又过了100万年，太阳因内部爆炸而愈发亮起来，由此产生了巨大的太阳风，被称作金牛座T型风（T Tauri wind）。风吹走了太阳表面的气体外壳，同时还撕裂了布满岩石的近日行星的大气层。气体夹杂着尘埃从近日行星飞向太空，其中只有少量气体和尘埃被外层的气体行星捕获，尤其是木星。这正是近日行星多为重元素而外层的行星多为轻元素的主要原因之一。

上述的环状物并不是都成了制造行星的原料。火星和木星之间有一个小行星带，据说是造行星未成的缘故。之所以未成，主要是因为这一带木星的引力相当大，行星还在形成中就被撕裂了。在气体行星的外端还有一些小型天体，比如冥王星，后者现在被看作是一颗矮行星，也围绕太阳运转。小型天体之外有各种大小的物质和尘埃团，不过从未聚合成大的天体。

事实上，冥王星及其他类似天体现常被视为从属于与其距离最近的云团，即所谓的柯伊伯带（Kuiper belt），是以荷裔美国天文学家杰拉德·柯伊伯（Gerard Kuiper，1905—1973）命名的，柯伊伯带距离太阳有30至50个天文单位。一个天文单位等于地球到太阳距离的平均值，约为1.5亿千米。再远一点儿是尚处于假说阶段的奥尔特星云（Oort Cloud），因荷兰天文学家简·奥尔特（Jan Oort，1900—1992）而得名，据说距离太阳有50,000至100,000个天文单位。奥尔特星云的最远端离太阳约有1.5光年的距离，甚至更远。因为离我们最近的恒星大约有4光年的距离，所以太阳系很有可能与最近的邻居有定期的物质和能量交换，而且从长远看，甚至与其他天体存在银河系范围的物质、能量交换。

行星的复杂性大致是在太阳系形成早期涌现的。造成行星复杂性的能量首先来自所谓吸积热（accretion heat），吸积热是太阳形成期的引力缩压所致，行星当时的主要任务是接受。就地球而言，这相当于2×10^{32}焦耳的热能，足够把地球上全部的水加热到600万摄氏度（差不多有太阳内核处一半的温度）。[11]伴随每一颗行星的形成，重物质都会下沉至内核，而轻物质则会漂浮到表面。这样，地球的金属内核就形成了，主要是铁和一部分的镍。这种固态内核的半径达1,200千米，液态的外核更达到2,200千米厚，核的外面包裹着一层地幔，有2,900千米厚。地幔主要由较轻的铁和镁硅酸盐组成。地幔的外面是薄薄的地壳，由更轻的物质组成，约有32%的铁、30%的氧、15%的硅、14%的镁、3%的硫黄、2%的镍和极少量的其他化学元素。地壳的厚度从5千米至70千米不等。如果把地球看作一个苹果，那地壳的厚度大约就相当于苹果的皮。

地球分化成多个层次，而分化的过程中也会产生热，即所谓的分化热（differentiation heat）。地球的分化热约有10^{31}焦耳，吸积热足足是它的十倍多。[12]经历了数十亿年的时间，大部分甚至全部的吸积热和分化热都已化作辐射被排放到宇宙太空之中。不过时至今日，也许少量的这种原始能量还存于地球之中，还在不断地向太空排放。

伴随吸积热和分化热被排放掉，地核和地幔处放射性元素核衰变释放出的热能开始驱动地球内部变得更复杂。这种热能是较大的原子核内部强力与电磁力之间的不稳定平衡所致，比如铀和钍，其内部都有大量的质子和中子。这种微小的粒子受强力的作用聚到一起，而同时在电磁力的作用下质子又会彼此分离。在这种较大的原子核中，电磁力会逐渐占据主导地位，因为强力作用的距离非常小。慢慢地，也非常肯定地，这种状况会导致大原子核分裂成小原子核。伴随原子核衰变，能量被释放出来。这种被称为放射热（radiogenic heat）的能量从地核被释放到地表，又从地表进入太空，在此过程中使地球变暖。上述过程的结果是形成了一个能量梯阶，后者在上地幔（upper mantle）制造了大量的对流单体（convection cells），由此开启了板块构造的过程，巨大的地壳碎片因此开始移动。就这样，板块构造塑造了地表的轮廓。

核热（nuclear heat）虽伴随放射性物质的减少（因为得不到补充）已丧失大约90%，但依然是目前地球内部复杂性的主要驱动力。不过，虽然绝大部分的吸积热和分化热早已丧失，且核热也比当初少了差不多90%，但地球内部的温度依然炽热，大约有6,000 K，跟太阳表面的温度相当。换言之，如果我们把地核挖出来放到太空，地球也会像太阳一般闪亮，但持续的时间不会很长，因为地核很快会失去热能并因此冷却下来。而在地球内部，核热的丧失则慢得多，因为地核外部的岩石层实际上充当着绝缘体的作用，不会允许热能很快传导出去。

正是地核与地表的温差——均值只有300 K左右——通过板块构造过程造就了地表千奇百怪的地理复杂性，从最高的山峰到最深的海沟都莫不如此。由此产生的地热能量梯阶造成上地幔出现对流，而对流又驱动地壳碎片位移。要不是因为有上述温差，就不会有地震、火山喷发和造山运动。

这就意味着：假如地球内部的核能量进一步枯竭，所有的地质活动迟早有一天必然会终止。类似的情况已经在火星和水星上面发生，甚至发生在月球上，而这一切在地质学意义上就是走向死亡。

太阳系的形成期告一段落之后，整个太阳系可能经历了几次重大变革。比如，巨型的行星，尤其是木星和土星，可能因为与周围尘埃云团

的摩擦已经向太阳靠拢。这种靠拢可能也降低了行星运行的速度，也因此造成其运行轨道的缩小。因此，这种巨型行星现有的运行轨道可能并非其最初形成的轨道。巨型行星的位移可能还影响到近日行星的正常运行，包括地球。

近日行星——甚至包括一些外行星——在最初形成后的6亿年间曾经历了所谓的宇宙轰击（cosmic bombardment），即宇宙残片在太阳系最初的吸积过程中受行星引力的影响向行星的撞击。事实上，这是太阳系吸积过程中的最后一个阶段。天文学家坚持认为曾经发生过宇宙轰击的证据是月球、火星和水星上都存在巨大的陨石坑（crater），具体做法是结合行星形成的年代计算陨石坑的数目。相比之下，地球上由于风化侵蚀和板块构造的双重作用，原有陨石坑中的大多数，甚至全部的陨石坑，都早已不见了踪迹。不过慢慢地，也非常确定地，宇宙轰击的强度逐渐不再像当初那样剧烈。但直到今日，地球每天仍不断遭到各种大大小小的来自太空物体的撞击，主要是岩石、宇宙尘埃和水，总量平均每年达4万吨。据说早期曾有无数富含水成分的彗星撞击地球，而这正是地球上现有大部分水存量的主要来源。[13]

我们的地球家园只有一个月球做伴，但比起绕行其他行星的卫星，我们的月球出奇地大。这就提出了一个月球起源的问题。因为阿波罗号宇航员从月球上带回来的岩石在组成成分上与地幔的岩石非常相近，所以有很多科学家都认为：在地球形成后的1亿至1.5亿年之间，有一个类似火星大小的物体撞到了地球上，撞击使相当一部分的地幔物质脱离了地球，而后便形成了月球，而撞击地球的“宇宙炮弹”则部分被地球吸收，部分与脱离地球的月球混为一体。现在，至少计算机模拟证明这一假想还是可行的。撞击还可以解释地球的自转轴与地球围绕太阳公转轨道的水平面为何呈66.5度夹角，正是这一角度使地球上产生了四季。若不是因为这次撞击，这一角度本应为90度。若真是90度角的话，地球上就不可能有季节的变化了。上述事件可谓另一个例证，说明物质和能流既能毁灭复杂性，又可以创造其他不同形式的复杂性。

总之，在大约45.6亿年前，太阳、行星及其他所有各种不同形式的天体在引力的作用下通过吸积热的过程终于涌现了，而吸积热和引力也是塑造太阳系的能量来源。整个过程大约经历了一亿年才告完结。自此以后，太阳系中便不再具备行星形成的条件。而在此后的9亿年间，大多数行星际的其他天体也逐渐湮灭了，纷纷降落到既有格局的天体之上。

恒星和行星的复杂度与生命体相比都要低得多，且前者的基本轮廓

都是可以预见的。用菲利普和菲利斯·莫里森夫妇的话说：“天文学因此属于天球的体系；你根本无法想象这世界会有一个类似茶碗大小的木星。”[14]换言之，受引力的影响，天球和天球的集群才是物质宇宙的真正主宰。因为宇宙中的大多数物质均以旋转的方式存在，由此产生的离心力造成天球（或天球的集群）呈扁平状。也正因此，太空中多见大致扁平的天球或类似天球的集群，虽然各自的形状各异。只有相对较小的小行星才有可能在形体上有更复杂的特征。

由于都是环绕太阳运行，所有的行星之间都会有某种彼此拉扯的力存在，也因此造成一种非线性的——甚至在某种程度上是混乱的——过程。艾萨克·牛顿爵士早就认识到了这一点，而且自此这也一直是天文学家们执着探索的对象。[15]不过在超级计算机和现代混沌理论（chaos theory）问世之前，这一计算上的困惑不大可能通过数学的方法得到解决。行星运行中的这种混乱状况对地球史产生了重要影响，详见下文。

太阳系中的生命适宜带

在太阳系，有一个适宜生命存在的区域。此前，我们了解了银河系中的生命适宜带，即足够远离银河系中心的一个区域，这样生命体就不会被超新星爆发毁灭，但又不能太远离银河系中心，因为那样的话就不会有足够数量的重化学元素，后者是构造生命体不可或缺的组块。同样，在过去的五十年里，科学家们一直在研究恒星——包括太阳——周围的生命适宜带（habitable zones，缩写为HZ）。1993年，天体物理学家詹姆斯·卡斯丁（James Kasting）、丹尼尔·惠特迈尔（Daniel Whitmire）和雷伊·雷诺兹（Ray Reynolds）提出适宜生命存在的区域有如下的金凤花需求[16]：

> 我们此项研究的一个基本前提是生命适宜带一定要像地球那样具备二氧化碳/水/氮（CO2/H2O/N2）构成的大气层，而且在行星表面还要有液态水。生命适宜带的内缘条件是水必须能够通过光分解（photolysis）和氢逸出（hydrogen escape）部分丧失（水在光照的作用下分解为其组成成分的氧元素和氢元素；氢元素要逸出太空，因为它非常轻，行星的引力根本无法使其保持在大气层），其外缘条件是必须能够形成由二氧化碳构成的大气层，大气层通过增加反照率（albedo[洁白度]）和降低对流直减率（convective lapse rate[减缓大气层对流传热的速度]）为行星的地表降温。就太阳系中的生命适宜带而言，保守的估计分别是0.95和1.37个天文单位（1个天文单位等于地球到太阳距离的平均值，约为一亿五千万千米或光在八分钟内穿越的距离）；生命适宜带的实际宽度可能还要大一些。在以上两边界之内，气候的稳定性由一反馈机制得到保障，大气中的二氧化碳含量与地表温度成反比。比地球还要大的行星，以及氮分压更高一些的行星，其生命适宜带还要宽一些。生命适宜带会伴随时间向外有所扩展，因为太阳的年龄越大其亮度就越高。对过去四十六亿年连续生命适宜带（continuously habitable zone，缩写为CHZ）的保守估计是0.95~1.15个天文单位。

总之，除了水星离太阳太近所以可能太热之外，可能包括金星和火

星——当然要算上地球——在内的区域都可能具备生命涌现的金凤花条件，见图4.1。

当然，这还取决于处于太阳系生命适宜带的行星的大小。比如，假如金星再小一些，火星再大一些的话，这两颗行星都有可能更轻松地具备生命诞生的条件。金星的大气层可能更薄一些，气候也会因此凉爽一些（现在的问题是太热，所以不能支撑生命）。火星若是更大一些，其大气层则会更厚一些，并因此产生更适宜的温室效应，气候也会比现在更温暖一些。而在生命适宜带之外，木星和土星的卫星也可能具备简单生命存活的条件。因为我们对这样的卫星上是否存在生命还一无所知，所以对此也不再做深入讨论。[17]

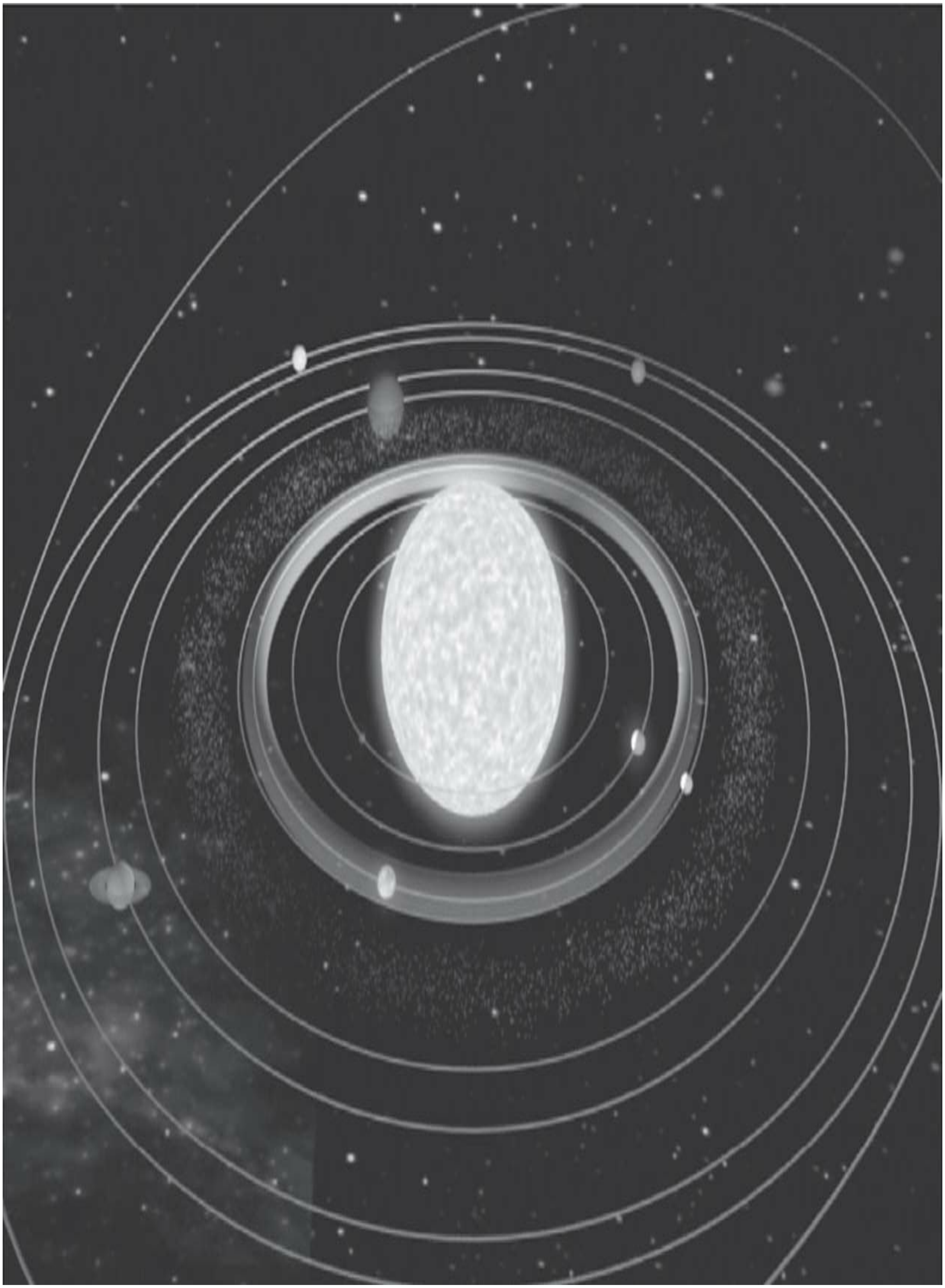


图4.1 太阳系中的生命适宜带及行星轨道，非按比例绘制（来源：美国宇航局）

地球的主要特征

要造就诸如地球之类的行星的复杂性，至少要具备如下四个主要因素：（1）自身的引力，这样才能保持整星一体；（2）内核处要产出能量，主要通过诸如铀之类重化学元素的核衰变；（3）外部要从中心恒星接收辐射能，这样接收来的能量主要影响行星的表面；（4）来自其他天体的宇宙引力影响（包括碰撞），比如中心恒星、其他行星、行星的卫星、陨石、彗星及诸如宇宙尘埃和水之类的分散物质。

因为地球受两种能流的影响，即来自外部的太阳能和来自内部的地热能，所以比起表面炽热且只有一个能源来源——即来自内部的核聚变——的恒星更容易造成适合复杂性进一步涌现的条件。因为地球与太阳之间的距离恰到好处，所以不仅能够使水保持液态，而且能够使更复杂的分子在地球上形成并持续存在，这样，更复杂实体产生的概率就大多了。还有，因为地球被深邃到没有边际的寒冷的太空包裹着，所以能够大量地以低能光子（红外辐射）的形式排放熵。

而今，地球最主要的特征是它仍具备其有史以来大部分时间都一直具备的重要的金凤花条件。首先，地球的大小恰到好处。若是再小一点儿，引力就不足以把大气或水吸附在地球的表面，而后者对生命而言可谓至关重要。若是再大一些，引力就会摧毁地球上所有的生物，而且鸟即使诞生了也不可能飞起来。因为地球的大小恰到好处，所以地球的内核依然炽热，虽然经历了45.6亿年，地核及地幔蕴藏的放射性元素如铀、钍、钾等依然存在且不断地释放热能。如前所述，这种热能会造成上地幔的位移，而位移造成地表永无止境的变迁，产生了地震、火山喷发、大陆漂移、造山运动、海底扩张等活动。因此之故，随着时间的推移，板块构造过程实际上通过海底下沉实现了地表资源的回收再利用，包括生物产生的废料（这种废料在海底有大量沉积），因为海底下沉搅碎了沉积的大块垃圾。[18]板块构造实际上既充当了垃圾桶，又是生物熵废料回收利用的能动体系。

第二，地球围绕太阳运行的轨道历经40多亿年依然在距离上恰到好处。因此，地球接受的太阳辐射从不太弱以至没有足够的能量供生命体繁衍（要真是那样整个地球表面早就冻结成一体了），也不太强以至毁掉全部生命（比如把地球上的水全部蒸发到太空）。第三，地球有体积

较大的月球，后者起到稳定地球自转轴的作用。要是没有月球，地球自转轴的角度就会飘忽不定，造成太阳辐射在地表出现较大的差异和变化。虽有更简单的生命体有可能在太阳辐射变化不定的情况下在大洋中求得生存，但对更复杂的生命体来说，这种变化肯定让它们更遭罪。[19]

虽说太阳辐射从太阳自身的角度而言是一种熵，但它却是地表更复杂实体生发的源头。对此，于贝尔·雷弗曾这样解释说：[20]

> 太阳表面要比地表热。由于这种温差或热不平衡（thermal disequilibrium），来自太阳的能量就可以在地球上使用。……地球持续不断地从太阳那里接受大量的光能，光能以黄颜色的光子雨的形式抵达地球，然后被地表迅速吸收。此后，这种光能被转化成热能，再以红外光的形式释放到天空。……光子的颜色与其源头的温度有关。太阳表面的温度为6,000 K，是地表温度（约300 K，或25摄氏度，或77华氏度）的20倍。光子的能量与其温度成正比。黄颜色的光子携带的能量是红外光子的二十多倍。一般来说，地球从太阳那里接受多少能量就会辐射出同等的能量。所以地球向太空释放的红外光子数是其从太阳那里接收光子数的20倍。

在雷弗看来，进入宇宙太空的光子数增加的现象正代表熵的增加，也只有这样才能够让地表出现复杂实体。假如太阳表面和地表的温度相同，那上述一切都不可能发生，因为那样的话，辐射会怎么来就怎么去。正是二者的温差使得地球上生发复杂性，而代价是其他宇宙空间中的熵量增加了。地热能驱动地质复杂度提升的原理与上述相同，也是由温差所致，虽然后者的能流均值（87微瓦/平方米）与太阳向地球输送的能流均值（1,367瓦/平方米）相比要小得多。

我们地球老家具体而微的特征造就了多种生物生存的条件。[21]如同所有行星一样，地球是个球体，所以朝向太阳的地表（热带地区）接收的阳光最多，而两极地区接收的最少。因此，两极通常要比赤道地区冷得多，这一点儿也不奇怪。热带和两极之间的这种温度梯阶造成了彼此间持续不断的物质和能流流动，赤道向两极主要是以暖空气和暖洋流的形式，两极向赤道则以冷空气和冷洋流的形式。

如今，地球一天24小时围绕其轴心运行。因此之故，地球上所有区域的太阳辐射会出现持续不断的波动，最突出的是昼夜，当然哪怕是在白天也有变化。在地球史上，地球自转的速度曾经历了从过去大约每6

小时自转一周到现在的每24小时自转一周，这是因为太阳和月球都在不停地拖曳地球并因此造成了海洋潮汐，而海洋潮汐会造成摩擦，从而降低了地球自转的速度。结果，地球自转逐渐变成了现在的24小时，并因此产生了长时期的金凤花梯阶，影响波及全球地表。地球的迟缓也影响到了月球，使得后者慢慢地但非常确定地离开地球。[22]

地球的磁性是由固态铁在地核处的旋转所致，据说其旋转的速度与地球其他部分稍有不同，而地核周围液态的外核能够感受到这种不协调带来的动荡，所以产生了一个能够定位的磁场，人类使用的罗盘针指向两极就是利用这一现象。这一磁场还能把来自太空对生命有害的带电粒子拽向两极，而那里很难有生命体存在，不过磁场的所为可能只是一种巧合。但结果就是对大多数生命体都有害的粒子被屏蔽掉了。磁场还可以防止太阳风剥离地球的大气层，因为磁性会把太阳风沿磁场线引导到地球之外或导向两极。

我们对地球磁场的历史并不是很清楚。[23]地球磁场好像会毫无规律地在短时间发生磁极逆转，较短的间隔时段只有数万年，而较长的竟达数千万年。上一次磁极逆转发生在78万年前。因为在最近的几个世纪，地球磁场的强度一直在减弱，所以我们真的有可能正在趋近下一次磁极逆转。一旦发生磁极逆转，整个地球的磁性将会短暂消失，在此期间，宇宙辐射将会毫无遮蔽地倾泻到整个地球，各种生物有可能会因此发生有害的变异。早期的磁极逆转很有可能也曾伴随类似的由宇宙辐射导致的基因转变，而且对整个生物进化发生过影响。

如今，地球自转轴与地球环绕太阳公转的轨道呈66.5度夹角。上文曾说过，这一夹角曾被认为是天体剧烈撞击地球、月球被从地球母体撕裂而出遗留下来的产物，上述事件发生在地球最初成形后的1亿至1.5亿年之间，而且这一倾斜的角度造成一年之中地球从太阳接收的能量各地有所不同，从而形成四季。这种受热不均的现象在陆地比在海洋更为显著，原因是水域比陆地加热需要更多的能量，所以海洋里的水热起来或凉下来都比较慢。也正因此，海洋的温度一般比陆地的温度波动要小许多。

地球围绕太阳公转（大约需要365.25天）的轨道也会波动，因为其他行星，尤其是体型巨大的木星，在不断地拖曳我们的地球老家。这一引力效应造成了三种主要的轨道体系（orbital regimes）。第一种，地球从更接近椭圆形的轨道向更接近圆形的轨道逐渐过渡，然后再从圆形轨道逐渐恢复到椭圆形轨道，这样一个周期下来大约是10万年的时间。这种轨道体系还有个名字，叫“偏心率”（eccentricity）。第二种，地轴与

地球围绕太阳公转轨道水平面的垂线夹角会发生周期变动，幅度为22.1~24.5度。这种体系也有个名字，叫“地轴倾斜”（axialtilt），更正式的名字叫“黄赤交角”（obliquity of the ecliptic），其变动的周期大约为4.1万年。造成这一周期摇摆的主要原因是太阳和木星的引力牵制，而月球引力起到了一种稳定作用。第三种重要的天文体系是地轴角度的缓慢倾斜，就像一个旋转的陀螺，周期大约为2.1万年。这种效应是太阳和月球引力的结果。这三种体系合起来被称作“米兰科维奇循环”（Milanković cycles），以纪念前南斯拉夫数学家米留廷·米兰科维奇（1879—1958），他曾提出天文体系与地球气候相关的理论，因为这些体系的变化会影响到不同地区的太阳光照量。[24]我们还不清楚上述格局究竟已经持续了多久。除了与不同时代的冰期有直接关联之外，上述轨道体系还产生了其他一系列复杂的能量效应，包括风的模式、洋流、云量和降雨量的变化。

地球不断变化的地理状况是板块构造和风化侵蚀双重作用的结果，而这种变化的状况正是金凤花条件的另一重要体系，不仅包括陆地和海洋之间的划分，还包括彼此各不相同、形态各异的三维图景，从深邃的海沟到挺拔的高山。

早期近日行星的历史

最初的时候，所有的近日行星，包括地球，都处于炽热状态。这是吸积热还没有被充分排放到宇宙太空及行星内核处辐射能的程度还比较高的缘故。近日行星的原始大气层在太阳开始照耀后被太阳风刮跑了，而此后近日行星内部释放出的许多气体（通常称作“放气”）又形成了次生大气层（secondary atmosphere）。不过，现在人们一般都认为是富含水成分的彗星落到行星上才造成后者拥有大量的水，也许大量的其他气体也是这么来的。其实，在温度降到足够低以后，地球和火星——甚至金星——上面都可能形成海洋。除了在地球上，上述活动可能为金星和火星也赋予了生命体产生的条件。不过水星则不然，因为它体积太小了，也过于靠近太阳，所以气温太高，不可能产生次生大气，更不要提液态水了。所以科学家们都认为水星上从未有过生命进化的现象。

太阳最初开始照耀时，其照度大约要比现在少25%左右。伴随数十亿年的演化，太阳的照度逐渐提升到现在的水平，这一过程中的光照梯阶影响了整个太阳系。在太阳系的早期，其中的生命适宜带离太阳更近一些，甚至因此金星上也曾涌现过简单的生命。不过随着时间的推移，金星内部释放的能量开始下降，而从太阳接受的辐射又有所提升，所以金星虽与地球大小相当，但还是因为离太阳太近，温度不可避免地升高，直至温室效应失控，可能有的生命体也因为温度太高而无以为继。

相比之下，火星比地球要小很多。因为火星离太阳相对远一点儿，所以接受的太阳辐射也比地球少。火星最初的大气层被刮跑以后，本来可以生成自身的次生大气层，但火星的体积却不够大，其自身引力因而无法保持大气层，而这时的太阳风能够更轻松地撕裂火星的大气层，因为它没有磁场。早期的火星可能有磁场，但因为体积比地球小很多，其内核中的铁很快就固化了，所以磁场随即消失，而太阳风对火星的大气层也因此可以为所欲为了。结果，火星失去了大部分的气体和地表水，变成了一个凄冷的所在。火星上即使有生命，经过这一劫难大多数也就无法存活了。不过尽管如此，人们还是认为火星上的某些地方有可能具备简单生命存在的条件。

攀登复杂性的金字塔（3）：原子与分子

从复杂性金字塔最低端的基本粒子开始，下一个层次是带负电荷的电子和带正电荷的原子核共同组成的中性原子和分子。

原子有一个原子核，周围有一或多个电子。电子的轨道成为壳，看起来就像洋葱一层层的皮。最里面的壳只能容下2个电子，下一层能容下8个。里层的壳装满电子之后，才能装下一个层次，如此类推。这样填装电子究竟能持续到什么程度，这取决于原子核内质子的数量。比如元素碳有6个质子，内壳已经填满电子，那外壳即使最多能装8个电子现在也只能装4个。

原子的外壳中只有一两个电子的时候，原子就有可能失去这些电子而带正电；原子的外壳中若有六七个电子，那原子还可能再夺取一两个电子而带负电。因为这样的原子互相吸引，它们可以形成非常牢固的键。岩石的例子可以很好地说明这种键的关系。这种键被称为离子键，因为带电原子叫作离子。要打破这种离子键大约需要1个电子伏特的能量。这个离子键往往非常稳定，对塑造行星来说绝对是很好的材料。但这种离子键却不够灵活，无法满足生物体内复杂化学反应的需求。但生命体确实使用离子键来构建骨骼、牙齿等部件，前提是这些部件均看重坚固度，而不是化学上的灵活度和多样性。

原子的外壳没有完全填满电子时，就可能出现几个原子共享电子的情况，这样，外壳就填满了，而多个原子也组成了更大的结构体，称为分子。原子之间的这种分子键合实际上是电磁力作用的结果。在原子外壳已经完全填满的情况下，该原子就不会与其他原子分享电子并形成键合关系。这种非常稳定不活跃的原子被称为惰性气体（noble gases）。氦是体积最小的惰性气体。惰性气体是室温条件下存在的气体，因为它们不能与其他原子结合而变成重原子并固化。

因为诸如碳之类的原子外壳只填装了所需电子一半的数目，所以非常容易与其他碳原子结合并分享电子。因为碳原子在争夺电子时都同样卖力，所以最终还是都有一半的电子空位，也正因此，键合了的碳原子不会带电。这种键合关系被称为共价键（covalent bonds）。碳、氢、氧、氮、硫和磷都可以基于共价键结合成分子，尽管其中一些键具有不对称的极化特性，这是因为有些原子在争夺共享电子时更卖力。这种电荷的极化对促成更复杂的实体是非

常重要，因为它使得分子间有各式各样的弱电磁吸引与排斥，且随着时间的推移，催生出大量复杂的形状。要打破这种共价键大约也需要1个电子伏特的能量。

这样形成的分子自然异常复杂，但同时分子也更脆弱，因为要打破这种相对较小的共价键集合所需的能量要比打破三维的离子键网络少得多。这就使得分子具备了灵活、脆弱、多样化的特征，可谓形成生命体的前提条件。因此，所有的生命存在都主要基于共价化学原理，虽然生命体离开同样溶于水的大量离子也无法存在。生命体的多种反应只能在有水的环境下进行，因为水提供了浓度最佳的溶液，且因为分子具有极大的灵活性。

因为分子通常都具有少量极化特征，所以分子间既可以彼此吸引又可以彼此排斥，当然这取决于具体的情况。这样就可以在分子内及分子间进一步造成相对稳定的三维结构。这种由微弱的所谓范德瓦尔斯（电磁）力促成的互动对塑造更复杂的生命实体特别重要。这种键合的强度不一，有的很弱，有的要相对强一些，比如把两股脱氧核糖核酸链条结合到一起的键，而脱氧核糖核酸分子内部包含着我们的遗传信息。要打破单个的范德瓦尔斯键大约才需要0.1个电子伏特的能量。分子键的极端多样化和极端脆弱性造就了其自身的极大灵活性，而这正是生命体存在并适应不断变化的环境所必需的。从宇宙的尺度视之，像这样复杂的分子及其灵活的反应能力是极其稀少的。

地球史的最初阶段被称为“冥古宙时期”（Hadean Era），大约从45亿年前一直持续到38亿年前最古老的岩石问世。最初的时候，由于吸积热、宇宙轰击和放射热的共同作用，地球尚处于炽热的熔融状态。又过了数百万年，地球开始冷却下来，因为这时吸积热已经排放到宇宙太空，天体撞击不那么频繁了，而放射热也开始减少。

大约40亿年前后，固体的岩石地壳开始形成了。因为岩石传热的性能不是很好，所以正在形成中的地壳把地球内核与太空隔绝开来。因此，地球保存了更多的热能，而热能使地球内核的温度提高了。由此，地球进入了一种新的动态稳定状态（dynamic steady state），地球也开始进化出新的摆脱热的方式，尤其是通过火山喷发以及后来的板块构造过程。因此，在冥古宙时期，火山喷发几乎是遍地开花、接连不断。那时候，地球上的昼夜大约为12小时，因为地球自转的速度还比较快。

起初，整个地壳的组成大致呈均质，上面覆盖着一层海水。只有到了30亿至20亿年间地球的进一步降温，地球才在板块构造过程的影响下形成上面轻、下面重的格局，轻的是大陆块（land masses）、重的是海底地壳。大陆块之所以轻，是因为它漂浮在构造板块上，而较重的海底地壳被不断地挤压到下面。大约20亿年前，板块构造过程正如火如荼地展开。不断移动的板块之间彼此碰撞、刮蹭的现象屡屡发生，然后是彼此分离，造成无以计数的火山喷发、地震和不断变化的地理格局。构造中的板块其平均移动速度大约和人的指甲生长的速度差不多，但不同板块移动速度的差别还是蛮大的。现在的大西洋由于海底扩张以每年10至20毫米的速度在加宽，而位于南太平洋的东太平洋海隆（East Pacific Rise）却以每年150毫米的速度在增大。[25]

依据普遍接受的说法，地球最初形成的次生大气层约有90%的二氧化碳、5%的氮，2%~3%的二氧化硫以及少量的其他气体和水，其在海平面的气压甚大，大约是当今的150倍。[26]早期大气层的构成中还没有游离氧（free oxygen）。而相比之下，今天的大气层约有78%的氧、21%的游离氧、1%的氩和仅0.04%的二氧化碳。上述大气层成分比例没有计算水；水的成分不是很均衡，沙漠中的大气水成分为零，而在热带地区却可能达到4%。显然，在地球史的早期，大气层曾经历巨大变化，详见下一章。在地球降温的过程中，阳光还非常昏暗，大气层中大量的二氧化碳可能造成了温室效应，这使得地球的表面相当温暖，而地表的水也能保持液态。

从长远看地球表面的境况变迁，最简洁准确的说法莫过于：初始至均，其后愈加分化，多样化的条件造成多个面貌不同的地区且各具特色。有趣的是，这样的说法同样可以用来描述宇宙史、生命史及人类史的特征。但不管怎么说，地球上的条件一直没有超出具体的边界。地球上的温度从不至极寒以致整体冻结，也不至极热以致水全部被蒸发到太空。此外，地球也从未经历来自天体的致所有生命殒消的恶劣影响，包括天体撞击、超新星辐射等。正是地表具备的这种具体的金凤花条件才使得生命在地球上生息、繁衍，历经数十亿年而不衰。

生命的特性

尽管有许多科学家都曾努力试图加以阐明，但生命的起源问题仍是科学界众所周知的未知数。要厘清生命涌现的历程，最大的问题恐怕就是时间：生命诞生本身可能经历了数百万年，而这种时长在实验室中是很难模拟的。

常有人主张：假如主要是依靠原子与分子的偶然相遇，那生命是不大可能涌现的。因此，导致生命问世的肯定是几种高度制约的或导引的过程的合一，而对这一过程本身我们基本上还没有认识。其中包括下述事实，即某些化学键比其他化学键更容易生成。此外，地球的地质状况要能提供足够的组块、能流和催化条件才能产生生命体。但还有另外一种可能，即构成生命体的大量分子是在其他星系中涌现的，后来在数百万年的时间里降落到地球上，因此提供了构成生命体的必要组块。

与行星、恒星或行星相比，即使体积最大的生命体也显得微乎其微。但正如我们在第二章看到的那样，生命体制造的功率密度要远高于无生命的物体。当前，太阳的功率密度只有2×10^{-4}瓦/千克，而现代植物的功率密度已达到0.09瓦/千克，而动物的则更高，约为2瓦/千克。显然，与星体不同，生命体更能够制造相当高的功率密度，而后者维持自身存在的金凤花条件并不是很高。

因此，生命体的涌现代表着一种崭新的获取更高复杂度的机制问世。与恒星和行星不同，生命体能够繁衍并非是因为能够利用自身储备的物质和能量，相反，所有的生物都必须不断地从周围的环境中汲取维持自身及繁殖后代所必需的物质和能量。这当然不是什么新的见解。早在1895年，奥地利物理学家路德维希·玻尔兹曼就曾指出，生命就是争夺自由能的一场斗争。[27]此外，细胞产出的所有生化化合物都要履行整个机体存活的功能。这样高水平的组织程度是无生命的物质从未见证过的。而且，因为生命体要从外界获取能量，所以只能在比较适中的温度下维持自身的生存，这样的条件有利于更复杂的分子结构涌现并为生命体持续提供必要的组块。

这一切之所以成为可能，首先是因为生物分子储存了信息。所有形式的生命体都存有遗传信息，后者控制着其自身繁殖及能源生产和消费

的过程，合称“新陈代谢”（metabolism）。所有这一切都在细胞内部发生，而细胞可被视作生命体的组块。所有的有机体都是由细胞组成的。许多形式的生命体只有单个细胞，但更复杂的有机体——比如人类——都是由大量细胞聚合而成。细胞是很小的膜体，里面能够产出并维系所有重要的生存及繁殖必需的分子，其中就包括携带有信息的脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）分子。这些分子不光携带信息，还会将信息转化为其他分子结构并同时调节众多细胞机制。

当然，细胞之外还有病毒。病毒也是由脱氧核糖核酸分子和核糖核酸分子聚合而成的组织，外面也有一层蛋白的薄皮。病毒本质上属于一种逃脱了细胞控制的无赖遗传物质。因为病毒不具备任何形式的新陈代谢功能，所以总依赖其他活性细胞才能实现自身繁殖。事实上，病毒绑架了这些活性细胞为自己服务。在这一过程中，病毒把自己的基因信息输入其他组织中并在众多不同物种的边界处进行基因交换和传递。这样看来，病毒在生物进化的过程中起到了重大作用，而这一点直到现在才逐渐被阐明。[28]

有关生命的界定问题时至今日还没有得到完满的解决。当下，有关生命的定义特别多，这里不拟加以讨论。不过，顺着本书提供的纲要线索，围绕生命定义的许多问题都可能得到解决，如果还不是所有问题的话。本人对生命体的定义如下：[29]

> 生命体是一种包含遗传程序的体系，遗传程序规定并指导分子机制主动地从外界获取物质和能量，同样借助分子机制，物质和能量被转化成维持自身生存的组块，如果可能的话，还会从事繁殖。

细胞的内部会生产大量的生物分子，其中最重要的是蛋白质。分子的生产过程正是基于脱氧核糖核酸与核糖核酸存储的信息编码。蛋白质有多种功能。其中最重要的功能是催化化学反应，否则化学反应就不会发生。这种蛋白质被称作“酶”（enzymes）。这种生物分子会通过降低使用能量的门槛加速化学反应，因为这种门槛会阻止化学反应在生命体既有的适宜的温度和压力下发生。换言之，酶最重要的功能是为化学反应的发生创造适宜的金凤花条件并适当调节。这一点很像酶在现在人使用的洗衣粉中发挥的作用：酶会打碎用传统的洗衣皂很难去除的有机分子（即污渍）。但酶的功用不仅限于打碎分子，酶还能合成分子并调整化学反应的速度。在细胞内部，漫长且复杂的系列化学反应都要借助各种酶才能得以实现。除了细胞自身的繁殖以外，这些化学反应还包括从

外界获取物质和能量、利用物质和能量生产生存必需的分子、排泄机体的废料以及——在更为复杂的细胞结构中——处理神经网络内部的信息。

一般而言，伴随生命的诞生，大自然中组块的数量和种类得到大幅提升。同样得到提升的还有组块间的连接和互动方式，组块的顺序也因而变得愈发重要。因此，我们有理由认为，伴随生命现象的开启，一种新的更为复杂的实体涌现了。生命体要生存和繁殖，就必须主动且不断地从外界获取物质和能流。而且因为地球上的资源是有限的，所以从长远看来，生命存在的机制必然蕴含着对资源的争夺。这一认识正是查尔斯·达尔文和阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士生物进化理论的基础，概言之，就是在两种不同类型的金凤花条件相遇的情况下围绕物质和能流展开的一场竞争。第一种金凤花条件涉及所有生物物种，不同物种尽可以彼此扶持、同时出场、争夺资源、相互捕食或污染环境；而另一种金凤花条件则关乎物种周围无生命的自然界，当然后者受到生物和无生命物质的双重影响。随着时间的推移，上述过程在地球的表面制造出了愈发复杂且不断变化的金凤花条件体系，凡活下来的物种就可以继续获取资源并生息繁衍，而其余的早已走向灭亡。

埃里克·詹奇曾强调指出，存储在分子中的生物信息编码的出现为世代相传创造了条件，而这本身也开启了学习的可能性。用詹奇的话说：[30]

> 通过信息，数个世代累积的经验就可以继续传递下去，这等于开启了一种新的开放之维。原有的化学耗散结构体（使用物质和能流维持自身生存）只能做到个体发生（ontogeny），只关注自身的进化，其记忆也仅限于自己生存期间的经历，而今，种系发生（phylogeny，即整个种系的历程）可能变得更为有效。起初的族谱还算不上什么谱系，顶多只是一条细线。前代的经验及波动、进化信息被纵向地传下来，用现在的话说就是以时间为轴。这种围绕时间的传递和记忆使得更高水平的复杂实体成为可能，而这在个体发生的物质系统中是不可能实现的。

简而言之，随着时间的推移，生物分子内部储存的信息使得学习过程变得可能，这又有利于更为复杂的实体进一步涌现，而这在此前的无生命世界是不可能的。

生命的关键分子

我们的身体由无数种生物分子组成，小的极其细微和简单，而大的又极其庞大、复杂。所有这些分子都是在细胞中制造的，制造过程由少数中央分子通过遗传信息加以协调。这种超长的分子被称作脱氧核糖核酸，简称DNA。脱氧核糖核酸分子序列中包含细胞内一切行为的信息编码。从脱氧核糖核酸相对较小的组成部分，分子会制造出某种复制代码，起到模板的作用，由此细胞的其他部分再制造出蛋白质。这种被称作核糖核酸（简称RNA）的复制代码分子与脱氧核糖核酸有些类似，但结构稍有不同。后者包含对不同蛋白质的编码，可谓细胞的驮马，负责催化反应、让身体长出毛发等所有具体工作。换言之，制造蛋白质的信息被编码在DNA中，由充当信使的RNA分子传递到蛋白质工厂。

这种蛋白质工厂被称作核糖体（ribosomes），其组成成分也主要是RNA，负责制定行为发生的中心规则。核糖体还有一部分是某种特殊蛋白质构成的。另有一类RNA——称作转运RNA——负责给蛋白质输送组块，输送来的组块叫氨基酸（amino acids）。每个转运RNA输送一种具体的组块，且有具体的编码，而编码必须与核糖体中信使RNA的编码吻合。在下一个地点，另一个转运RNA也同样依法行事，因此，不同的氨基酸被联结成一个特定序列。核糖体的职责正在于把不同种类的氨基酸联结起来并形成蛋白质，而后氨基酸与转运RNA的连接也就断开了。

可这种精密的系统究竟是如何涌现的呢？虽然蛋白质在细胞内无处不在，但要从蛋白质入手建造这样一架机器是非常困难的。从脱氧核糖核酸入手也是一样。然而核糖核酸也是无处不在且履行大量的功能，包括复制信息和催化反应。因此，我们怀疑：在这架功能齐全、紧张有序的分子组装线上，是否核糖体标志着最古老的生命架构呢？如果此说正确的话，那么核糖体中的RNA很有可能包含流传至今的最古老的基因信息。

生命的涌现

人们通常认为，所有形式的生命体都源自一个共同的祖先。今天，有各式各样、品类不同的物种栖息在地球的每一个角落、每一个缝隙，小到细微的病毒、大到伟岸的动植物，而且所有形式的生命体都经历非常类似的基本生化过程。[31]这一点为生命共源说提供了明显的支撑证据。

至于最初的生命是在哪里、何时、又是如何涌现的，我们并不是很清楚。有人声称最早的生命体可追溯到约38亿年前，但这一观点已遭到质疑。但我们有坚实的证据说明，生命体至少有34亿年的历史。既然地球在45.6亿年前就已形成，那么由此经物理化学演化至最初的生命诞生可能时间很长，但也可能不是那么长。事实上，我们甚至不清楚最初的生命是在地球上涌现的，还是被某种恰好来访地球大气层的天体从别的什么地方带到地球上的。假如生命确是在宇宙别的地方发端的，那么我们对生命发端的时间、地点和方式也同样一无所知。不过因为最初的生命似乎特别适应早期地球的环境，那很有可能生命就是在地球上自发地涌现出来的。

假如生命确是在地球上涌现的，我们还是不清楚生命是否只涌现过一次。假如生命是从地球之外进入的，我们也不知道这种外来的闯入者是否只拜访过一次。因为所有形式的生命体似乎只有一个共同的祖先，那几乎不可避免的结论就是：任何与这一先祖竞争的生命形式——无论其是在地球上出生，还是从太空坠落的——都未能活到现在。换言之，从长远看来，地球上的条件不大符合另类生命体（假如真的有过另类的生命体）的生存需求。

最初的生命在地球上涌现之前，曾有过漫长的无生命复杂实体渐趋形成的过程。这一过程通常被称为“化学进化”（chemical evolution）。在物质和能流的影响下，例如阳光、火山活动、闪电和放射性衰变，越来越复杂的分子就形成了。这些分子也有可能来自外太空。这样，到了某个时间点，就开启了一个自组织的过程，并进而导致生命的涌现。

有足够量的液态水肯定是生命涌现及持续存在绝对必需的条件，因为没有水，维持生命所需的物质和能流就不可能存在。埃里克·蔡森对

此曾解释说：空气过于稀薄，无法支撑复杂网络的涌现及其持续存在——今日所有生物体的细胞中都有复杂网络的链反应，而固态物又过于滞涩。只有水为我们所知的生命化学反应提供了合适的条件。[32]当然，也许有其他形式的生命体基于完全不同的化学反应，但即使这种形式的生命体存在，我们也一无所知。无论如何，直至今日，有足够量的液态水为地球上的生命及文化设置了极严格的限界。另外，足够量的液态水，比如大洋，对外来能流波动造成的温度波动有某种阻尼作用，因为水可以吸收大量的热能而不致水温大幅提升。这样会造成温度和压力相当稳定，有助于早期的生命体存活下来。这一点也不是什么新见。早在1871年，查尔斯·达尔文就曾提出，生命体可能就是在条件非常适宜的“温热的小水塘”（warm little pond）中涌现的。[33]

主张生命源于大洋还有另外一个原因：活性细胞中的平均含盐浓度（不是其具体组成成分）与现代大洋中的平均含盐浓度非常接近（古代大洋也应该差不多）。假如早期生物细胞的含盐浓度同周围的海水差别很大，那么由此产生的能量差异几乎马上就会把生物细胞杀死。当然，随着时间的推移，这种能量差异还会有所发展，尤其是生命体从海洋迁移到陆地以后。不过，到了那时，生命体已变得足够健硕，且已进化出防护手段，足以在最初的恶劣环境下保护细胞了。

目前最有可能成为生命开端的场景叫作“RNA世界”（RNA world）。在RNA世界，RNA分子可以自发地生成，既能携带信息，又可以催化重要的反应，包括自身的繁殖。这种RNA分子的集合可能催生了最初的活性细胞。支撑这一假说的证据是：如今，所有形式的生命体都不能缺少RNA分子，RNA分子有大有小，能够完成众多不同的功能。此外，RNA分子最主要的组块三磷酸腺苷（通常缩写为ATP）是所有细胞都要使用的主要的能量载体。不过有一点，我们还不清楚RNA分子最初是如何涌现的，因为RNA分子相对不是很稳定，且其自身的形成也需要一定的能量投入。也许早期的RNA还有某种尚不为人知的分子前身。[34]

大洋很可能为最初生命的开启提供了物质和能流，尤其是通过海底的火山喷发，而且那时候这种海底火山的喷发异常频繁，这是因为起隔绝作用的地壳使地球的温度持续增高。直到今天，这种黑烟囱在大洋的多个地方还不时可见。之所以称其为“黑烟囱”是因为它们会冒黑烟。埃里克·蔡森认为，海底火山喷发为早期生命的维持提供了足够的能量，约为$50×10^{-4}$瓦/千克的能量。相比之下，现代海底火山的黑烟囱只能产生10^{-4}瓦/千克左右的功率密度，但这对以此为生的现代生物来说也还够用。[35]荷兰科学家弗兰克·尼尔在其2005年出版的专著《能量：进化的

引擎》中将这种早期的体系称为“喜温体系”。[36]

美国微生物学家尤金·库宁（Eugene Koonin）和威廉·马丁（William Martin）于2005年提出，早期生命很有可能是在微温黑烟囱冒泡的多孔硅酸盐结构中形成的。在这种为数众多且相对受保护的气泡中——这里的气泡与细胞的大小相当——RNA分子可能开始了与其他分子的互动。硅酸盐结构多孔的墙壁也可能充当了催化剂的角色，因而使得生产更复杂的分子成为可能。[37]当这种满载形成中的生命因子的气泡四下流溢时，其分泌出的小气泡会融入海水，而海水周围有可能漂浮着一层蛋白质和脂类。这一过程可能持续了数百万年也未能最终形成生命体。但哪怕有一次获得成功，这种微小的气泡就可能演变成最初的活性细胞。提出这一机理的一个主要理由源自如下观察：今天，古细菌、原核细胞（prokaryotes）和真核细胞（eukaryotes）三大演化类群的主要分子机制是相同的，而其彼此不同之处在细胞膜和DNA的复制方式。最早的生命形式最初涌现时可能还没有脱氧核糖核酸分子或明晰可见的细胞膜，这些都是后来分别进化出来的。

生命的涌现意味着一种新的物质体系的问世，其特征是吸收外界的能流以提升自身的复杂度。随着时间的推移，吸收能流的过程一定由被动变成主动，直到某个时间点，早期生命体终于进化出一种主动从周围环境获取物质和能量的机制，这是当今各种形式的生命体依然还在做的。这本身是一次重大转折。不过既然维持自身的复杂性需要大量的物质和能量，也意味着生命体为此要不断地付出巨大努力，我们不禁疑惑：生命体为何不停止努力从而消失了算了呢？不可避免的结论是：生命体在涌现过程中进化出一种极强的内置驱力（in-builtdrive），就是要生而不灭。我至今还未弄清这种内置驱力的生化机制是什么。

但探问生命体这种求生的内置驱力背后可能的生化机制确是一个非常诱人的问题。生物细胞内部自发产生的自催化反应（autocatalysis）可能是这一生化机制的部分内容。自催化反应肯定致使机体感觉到对某种化学原料的需求，而后又在细胞中造就了物质和能量梯阶，物质和能量梯阶遂刺激机体进化出某种能够认识到这一梯阶的机制，该机制随后把知识化作行动，开始主动地从外界汲取上述化学原料。这种机制于是造就了有机体最早最古老的一种感觉——饥饿感。

我们还不清楚在初始条件都适宜的情况下，生命的涌现到底是不可避免的（如同星系、恒星和行星的涌现一样），还是各种难以置信的机缘巧合的产物。也许未来的空间探索会为这一问题的解答提供证据和些许的科学性。

如同最重的化学元素在超新星爆发中产生一样——重元素形成时一定要吸收能量，细胞要制造更复杂的分子也不能不吸收能量，而当这些分子解体时，能量又被释放了出来。由于生命体数十亿年来永不停息的劳作，在地球的某些地方便自发地积累起这种富含能量的生物分子，这种积累造就了我们今天还在使用的大部分化石燃料，甚至是所有的化石燃料。[38]

假如生命体确实是在海底黑烟囱造就的相对良好的环境中涌现的，那么此时的生命体一定从一开始便适应了这里的环境。因此，早期的生命体肯定特别依赖从地球深层释放出的地热能。不过，随着时间的推移，生命体又学会了以多种方式从自身所处的环境中提取能量，其中最重要的是中央恒星发出的电磁辐射。能够收获阳光使生命体摆脱了对黑烟囱的依赖，从而在广阔的大洋里、陆地上及天空中滋生繁衍。生命体究竟是如何学会这种本领的呢？详见下一章的讨论。

参考文献

Andel, Tjeerd H. van. 1994. New Views on an Old Planet: A History of Global Change. Cambridge, Cambridge University Press (1985).

Aunger, Robert. 2007a. ‘Major transitions in “big” history.’ Technological Forecasting and Social Change 74, 8 (1137–63).

Aunger, Robert. 2007b. ‘A rigorous periodization of “big” history.’ Technological Forecasting and Social Change 74, 8 (1164–78).

Belderok, Stein. 2008. ‘Goldilocks in petroleum geology.’ In: Keestra, Machiel (ed.) Van denkrichting veranderen. Amsterdam, Institute for Interdisciplinary Studies, University of Amsterdam (15–6).

Broda, E. 1975. The Evolution of Bioenergetic Processes. Oxford & New York, Pergamon Press.

Budyko, M. I. 1986. The Evolution of the Biosphere. Dordrecht, the Netherlands & Boston, D. Reidel Publishing Company.

Cairns-Smith, A. G. 1995. Seven Clues to the Origin of Life. Cambridge, Cambridge University Press, Canto (1985).

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Chaisson, Eric J. 2006. Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos. New York, Columbia University Press.

Chown, Marcus. 2008. ‘Land of the rising suns.’ New Scientist issue 2670, 23 August (40–3).

Christian, David. 2004. Maps of Time: An Introduction to Big History. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

Cloud, Preston. 1988. Oasis in Space: Earth History from the Beginning. New York,W..W. Norton & Co. Drury, Stephen.1999. Stepping Stones: The Making of Our Home World. Oxford, Oxford University Press.

Feng Tian, Toon, Owen B., Pavlov, Alexander A. & De Sterck, H. 2005. ‘A hydrogen-rich early earth atmosphere.’ Science 308, issue 5724 (1014–17). Fox, Douglas. 2007. ‘Life but not as we know it.’ New Scientist issue 2607, 5–15 June(35–9).

Fox, Ronald F. 1988. Energy and the Evolution of Life. New York, W. H. Freeman & Co.

Glasby, Geoffrey P. 2006. ‘Abiotic origin of hydrocarbons: An historical overview.’ Resource Geology 56, 1 (85–98). Gleick, James. 1988. Chaos: Making a New Science. Harmondsworth, Penguin Books (1987). Hamilton, Garry 2008. ‘Welcome to the virosphere.’ New Scientist issue 2671, 30 August (38–41).

Jantsch, Erich. 1983. The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution. Oxford & New York, Pergamon Press (1980).

Kant, Immanuel. 1755. Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgeb.udes, nach Newtonischen Grunds.tzen abgehandelt. K.nigsberg, Petersen (anonymously published).

Kasting, James F., Whitmire, Daniel P. & Reynolds, Ray T. 1993. ‘Habitable zones around main sequence stars.’ Icarus 101 (108–28). Koonin, Eugene V. & Martin, William. 2005. ‘On the origin of genomes and cells within inorganic compounds.’ Trends in Genetics 21, 2 (647–54). Lehninger, Albert L. 1975. Biochemistry: The Molecular Basis of Cell Structure and Function, 2nd edn. New York, Worth Publishers.

Lineweaver, Charles H., Fenner, Yeshe & Gibson, Brad K. 2004. 'The galactic habitable zone and the age distribution of complex life in the Milky Way.' Science 303, 2, January (59–62).

Lovelock, James E. 1987. Gaia: A New Look at Life on Earth. Oxford & New York, Oxford University Press.

Lovelock, James E. 2000. Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine. Oxford & New York, Oxford University Press (1991).

Lunine, Jonathan I. 1999. Earth: Evolution of a Habitable World. Cambridge, Cambridge University Press.

May, Brian, Moore, Patrick & Lintott, Chris. 2006. Bang! The Complete History of the Universe. Bristol, Carlton Books.

McSween, Harry Y., Jr. 1997. Fanfare for Earth: The Origin of Our Planet and Life. New.York, St. Martin's Press.

Mishurov, Yu. N., Zenina, I. A., Dambis, A. K., Mel'Nik, A. M. & Rastorguev, A. S. 1997.

'Is the Sun located near the corotation circle?' Astronomy and Astrophysics 323 (775–80).

Morrison, Philip, Morrison, Phylis & The Office of Charles and Ray Eames. 1994. Powers of Ten: About the Relative Size of Things in the Universe. New York, W. H. Freeman.& Co., Scientific American Library.

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Peterson, Ivars. 1995. Newton's Clock. Chaos in the Solar System. New York, W..H..Freeman.& Co. (1993). Pleij, C. W. A. 1995. Een wandeling in de 'RNA-Wereld.' (A walk through RNA world). Oratio, Leiden, Rijskuniversiteit Leiden.

Priem, Harry N. A. 1993. Aarde en Leven: Het Leven in relatie tot zijn planetaire omgev-ing – Earth and Life: Life in Relation to its Planetary Environment. Dordrecht, the Netherlands, Boston & London, Wolters Kluwer Academic Publishers.

Priem, Harry N. A. 1997. Aarde: Een planetaire visie. Assen, the Netherlands, Van.Gorcum.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Schr.dinger, Erwin. 2013. What is Life? Cambridge, Cambridge University Press (1944).

Smil, Vaclav. 1999. Energies: An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization. Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2002. The Earth's Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change. Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2006. Energy: A Beginner's Guide. Oxford, One World Publications.

Strangway, David W. 1970. History of the Earth's Magnetic Field. New York, McGraw-Hill Book Company.

Ward, Peter D. & Brownlee, Donald. 2004. Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe. New York, Copernicus Books (2000).

Westbroek, Peter. 1992. Life as a Geological Force: Dynamics of the Earth. New York & London, W. W. Norton & Co.

Westbroek, Peter. 2009. Terre! Menaces et espoir. Paris, éditions du Seuil.

White, L. A. 1959. The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome. New York, McGraw-Hill.

Whitfield, John. 2004. 'Born in a watery commune.' Nature 247, 19 February (674–6).

Zalasiewicz, Jan & Williams, Mark. 2012. The Goldilocks Planet: The Four Billion Year Story of Earth's Climate. Oxford, Oxford University Press.

推荐阅读书目

Cairns-Smith, A. G. 1995. Seven Clues to the Origin of Life. Cambridge, Cambridge University Press, Canto (1985).

Chaisson, Eric J. 2006. Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos. New York, Columbia University Press.

Cloud, Preston. 1988. Oasis in Space: Earth History from the Beginning. New York, W..W..Norton & Co.

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Priem, Harry N. A. 1993. Aarde en Leven: Het Leven in relatie tot zijn planetaire omgeving.– Earth and Life: Life in Relation to its Planetary Environment. Dordrecht, the Netherlands, Boston & London, Wolters Kluwer Academic Publishers.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Smil, Vaclav. 2002. The Earth’s Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change. Cambridge, Mass., MIT Press.

Ward, Peter D. & Brownlee, Donald. 2004. Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe. New York, Copernicus Books (2000).

[1] 分析行星大气层的成分以获取生命起源的线索，这是詹姆斯·洛夫洛克发明的研究方法，故而后来提出了盖娅假说，本书第五章对此有说明，详情可参阅其专著（1987 & 2000)。

[2] 本章的科学数据有多种来源，涵括数世纪以来的天文观测、空间探测器和载人航天飞行发回的数据、岩石的年代测定和长期的地质学及生物学研究，包括生物化学。

[3] 有关宇宙中其他地方可能存在的生命的推测性概述，参阅Fox (2007)。

[4] 我们不能认为人类在宇宙中的邻里间出现了生命和文化现象就一定代表整个宇宙的发展也有不同阶段，可比较Aunger (2007a&b)。我们不能简单地把地球上涌现出生命和文化当作大历史演进的重要阶段，因为这样做无异于强化新形式的地球中心主义及人类中心主义。

[5] 第四章和第五章基于大量资料，其中有不少在正文中没有明确提及，因为那样的话，差不多每一句后面都要加缀长长的注释了。我个人认为最重要的通论性著述如下（按字母顺序排列）：Chaisson (2001 & 2006); Christian (2004); Cloud (1988); Drury (1999); Jantsch (1983); Lovelock (1987 & 2000); Lunine (1999); Priem (1993 & 1997); Smil (1999 & 2002); Ward & Brownlee (2004); and Westbroek (1992)。

[6] Lineweaver, Fenner & Gibson (2004), pp. 59-62.

[7] 星系的共转圈是指这样一个区域，即一物体环绕星系中心运转的角速度（angular velocity）等于所有环星系中心运转的角速度之均值，如此圈出的区域为共转圈。在银河系中，共转圈的半径大约为23,500光年（误差幅度约为4,200光年），太阳距离银河系中心约24,500光年。换言之，人类在宇宙中的邻居与共转圈非常接近。根据宇宙学家的说法，这一区域出现环绕星系中心运转的物体相撞的概率最小，也因此最适宜生命繁衍生息。参阅Mishurov, Zenina, Dambis, Mel’Nik & Rastorguev (1997), pp. 775-780。

[8] 可参阅Chown (2008)。

[9] Kant (1755).

[10] 可参阅Cloud (1988), pp. 10-15。

[11] 我自己的计算使用了如下数据：根据各种估算的平均值，地球上现有蓄水量为1.3×10^{21}公升；1焦耳 = 0.239卡路里，而1个卡路里等于将1克水从15.5摄氏度提升至16.5摄氏度所需要的热量。

[12] 这里有关吸积热和分化热所取的值来自Priem (1997), p. 40。

[13] 可参阅Ward & Brownlee (2004), p. 49。

[14] Morrison, Morrison & The O.ce of Charles and Ray Eames (1994), p. 7.

[15] 可参阅Gleick (1988) and Peterson (1995)。

[16] Kasting, Whitmire & Reynolds (1993), p. 108. 事实上，首先被提出来的是“太阳系中的生命适宜带”这一概念，后来才有了“银河系中的生命适宜带”概念。

[17] Ward & Brownlee (2004), pp. 15..

[18] 可参阅Westbroek (1992 & 2009)。

[19] 可参阅McSween (1997), p. 119及May, Moore & Lintott (2006), p. 108。

[20] Reeves (1991), pp. 73-74.

[21] 可参阅Budyko (1986) and Smil (2006), pp. 22.。

[22] 参阅Cloud (1988), p. 123。

[23] 比较Strangway (1970)。

[24] 可参阅van Andel (1994), pp. 90-94。

[25] Van Andel (1994), p. 126.

[26] 围绕这一观点并非完全没有争议。2005年，美国科学家田丰等人提出：早期大气层可能包含约40%的氢，但后来慢慢地又非常肯定地都消失在了太空。要知道，氢有助于生成生命体所需的化学原料。

[27] 相关概述可参阅White (1959), pp. 34.。例如，奥地利能源专家英格尔伯特·布罗达 (E. Broda，1975)和美国生物学家罗纳德·福克斯 (Ronald Fox，1988)撰有精彩的相关专著，其中将生命体看作一个能量驱动的过程。更晚近一些，可参阅瓦克莱夫·斯米尔同样精彩的有关大气层和生命形成的著述。

[28] 相关概述可参阅Hamilton (2008)。

[29] 我对生命的定义非常接近进化生物学家康拉德·洛伦兹（Konrad Lorentz）的相关论述："生命是相当主动的作为，既要获取一定的能量，又要获得相当的知识，二者互有促进。这两个反馈循环非常有效，再加上彼此频繁的互动，遂成生命体有能力战胜异常强大但毫不留情的无机世界的前提，或曰道理所在。"转引自Chaisson (2001), p. 176。同时参阅Lehninger (1975), pp. 3-4。所有这些观念都让人想起埃尔温·薛定谔在《生命是什么？》（What is Life?, 1944年首次出版，2013年再版发行）一书中对生命特征的总结。在笔者的定义中，病毒还算不上生命体，但病毒与被其利用的细胞一道就成了生命体。

[30] Jantsch (1983), pp. 102-103.

[31] See, for instance, Smil (2006), p. 24.

[32] Chaisson (2006), p. 318-319.

[33] 根据网上《科学百科全书》（Encyclopedia of Science）(www.daviddarling.info/ encyclopedia/D/DarwinC.html)，"达尔文在写给植物学家约瑟夫·胡克（Joseph Hooker，1871）的一封信中曾设想过生命体的化学起源：'人们常说最初生物体产生的条件已经具备了，可这样的条件不是一直都具备嘛！但如果（哦，好大的如果！）我们能够设想在某个温热的小水塘，里面有各种各样的氨和磷酸盐、光、热、电等，这样，蛋白复合物就可以通过化学手段制造出来，而后再进一步复杂化。要在今天，这种物质早就被一口吞掉或吸收了，但那时的情况不同，因为生物还没有最终形成。'不过他也认识到那个时代的科学还不足以讨论这样的概念，所以又补充说：'其实现在谈论生命的起源还只能是胡思乱想；当然，人们可以讨论物质的起源。'"。

[34] 可参阅Pleij (1995); Whit.eld (2004); and Koonin & Martin (2005)。

[35] Chaisson (2001), pp. 169-170.

[36] Niele (2005), p. 8.

[37] Koonin & Martin (2005), Cairns-Smith (1995).

[38] 参阅Belderok (2008)。有关石油，尤其是天然气（甲烷），究竟如何形成还存在争议。有科学家主张二者的起源与生物无关，参阅Glasby (2006)。就甲烷而言，此说还有些可信，因为其他行星上也发现有大量的甲烷存在，比如木星，还有行星的卫星，比如土星的泰坦星（Titan）。甲烷不大可能是生命体制造出来的。

第五章
地球上的生命：复杂性的拓展

生命、能量与复杂性

过去40亿年的生命史可以总结成一句话：生物在与行星及宇宙环境不断的互动中进化。最初的生命形式非常简单，但随着时间的推移，生命分化出多个生物物种。一方面，大量简单的微生物持续存在，但另一方面，更复杂的生命形式已经开始涌现。虽然生命的历史曾被五次大灭绝事件打断，导致生命复杂性出现短暂的急剧下降，但生命的长期趋势是多种多样的有机体从简单的生命形式走向越来越复杂。[1]

与无生命的自然不同，生命体更复杂，要主动地获取物质和能量。当然主动的获取本身也消耗能量。所以从生命伊始出现，权衡成本与收益的机制就开始发挥作用了。对于无生命的复杂实体，比如恒星、行星和星系，这种权衡机制不起什么作用，因为它们不需要主动获取物质和能量。然而更复杂生命形式的涌现与这种成本收益的权衡关系紧密，即要获得更高的复杂度，投入的成本就不能大于收益和产出。

这一过程在很大程度上受种群内部和物种之间的竞争驱动，竞争决定了哪些对生存和繁殖有利，哪些不利。比如，5.4亿年前出现的复杂动物与其竞争对手相比足以捕捉猎物并实现自卫。显然，新的复杂度带来了收益，足以平衡为此付出的代价。

生命体要保持自身的复杂性，就必须获取足够的物质和能量，这是压倒一切的硬道理。因此，生命的故事首先要讲生命体如何获取并合理地使用物质和能流，而不至成为其他生物囊中的物质和能源。这绝不是什么新见，而是数十年来人们一直热衷探讨的课题。所有的分析都会或含蓄或直白地使用这一观念，即能在特定的金凤花条件下能量流过物质是造成不同层次复杂存在的根本缘由。[2]

生物进化不同于宇宙演化，后者一开始能量十足，但随后就慢了下

来，而前者却一直在加速。生命最初是在35亿年前涌现的。直到20亿年前，生命体的形式都特别简单，但从那时起，最初的复杂细胞形成了。如此又过了15亿年，复杂的有机体开始扩散，时间大约是5.4亿年前。从此，生物的种类出现激增。[3]人类史上也曾有过类似的加速现象，加速期间，人口数量和技术水平都出现激增。

生物进化和人类史之所以呈加速之势的深层原因，可能在于二者均受学习过程的驱动。这里的学习过程首先是关于如何获得足够的物质和能量以及保持自身的复杂性。学习过程的一个重要组成部分是在达尔文和华莱士“自然选择”或“物竞天择”（或非随机消除）的压力下不断地重新评估保持复杂性的成本与收益。这一过程的原理就是要消除不利的物种基因和不完备的文化技能，因为生物进化的硬道理就是物种是否能够成功繁衍，是则生，不是则必须消除。

因此，不同形式的生命体有时被称为“复杂适应系统”（complex adaptive systems）。这一概念是美国圣达菲研究所的莫里·盖尔曼（Murray Gell-Mann）及其同事提出的，圣达菲研究所致力于从跨学科的角度研究复杂性。[4]与无生命的自然物不同，所有形式的生命体都会适应外在世界，但经常也会改造外在世界以适应自己的生活。对所有的生命体来说，要么学会适应不断变化的环境，要么被非随机消除。

作为这种学习过程的结果，生物进化和人类史都具备了某种正反馈（positive feedback）机制。生物进化基于硬性绑定在某些特殊分子内部的遗传学习（genetic learning），而文化学习主要是在大脑和神经细胞中进行，更多的是“软件”的形式。从长远看，这种学习过程有一种自我强化的性质，前提是学习者认定要获取足够的物质和能量以求生存、繁殖并保持自身的复杂性。因此，生物进化和人类史表现出类似的加速趋势。

生物信息一出现，生物间故意散布假情报的现象就开始了。今天我们至少能够看到两种形式，都与使用物质和能量有关。第一种形式是利用他种细胞的新陈代谢达到自我繁衍的目的。病毒就是这么做的。病毒把自己的基因信息注入宿主细胞（host cells）中，这样，外来信息就可以利用宿主细胞的新陈代谢实现自我复制，耗尽宿主细胞的能量而只为保持自我的复杂性。第二种形式是要避免成为他者的物质能量源而采取的改头换面。有机体通常会模仿捕食者不大喜欢的那种生物体的外形和颜色或采取伪装战术。

生物体越复杂，其衰败的风险也就越大。因此，复杂生命体一般都活得不是很长，这对个体生命和整个物种的存续来说都一样。此外，生

物进化和人类史都对自然环境造成了深刻的影响。这种行为一方面刺激新的物种不断问世，而另一方面，也造成大量物种走向衰败。只行要地球上存在生命，生物进化和星系环境之间就会这样不停地互动下去。

要生存和发展，所有形式的生命体都必须持续不断地从外界获取物质和能量。有很多物种靠捕食其他物种为生，这必然意味着有更多的生物体是从周围无生命的环境中求得必需的物质和能量。后类物种主要是各种微生物和植物，它们为其他生命体提供所有的物质和能量。换言之，所有的复杂适应体系（生命体）最终都要靠复杂非适应体系（无生命的自然）提供能量。

生物体越复杂，其产生的功率密度就越大。换言之，生物进化展现出如下的趋势：总有某些特别重要的物种会占用更大份额的物质和能量，而这些物种也会因此变得更加复杂，所以不会被增大的物质及能流毁灭。也就是说，这些物种，包括人类，必定在其内部创造了特定的金凤花条件，使其既能利用增大的物质和能流又能避免遭受无可挽回的损伤。[5]

更复杂的生物体往往能够持续产出较大的功率密度，但有些微生物却也能够在短时期内让物质经历巨大的能流。[6]比如，有种固氮菌（Azotobacter），若在最佳条件下栽培，其功率密度可达10,000瓦/千克（相比人的均值只有2瓦/千克）。在这种条件下，固氮菌试图以最快的速度自我繁殖，大约每20分钟左右就繁殖一次。这样，固氮菌就不但保持了自身的复杂性，而且还实现了快速繁殖。但由于资源有限，这种惊人的新陈代谢速度只能维持很短的时间。大多数时间，这类生物只能依靠非常有限的能量供给勉力为生。显然，遇到了获取能量的大好时机，就连微生物也会分秒必争。

相比之下，人类的生存策略颇为不同：人类会努力确保有稳定的食物供给，还会建造储粮的体系，这在体内和外部库房重地都是一样。当然，人在这一方面并非独此一家。其他许多动物，包括蜜蜂、松鼠等，都会建造类似的存储体系。相反，在无生命的自然界，这种存储物质和能量的现象却从未有过。储备物质和能量以备后用显然是一种崭新的生存策略，为复杂适应体系独家享用。随着生命体变得愈发复杂，其存储体系也会变得更复杂。这一趋势在人类史上也有表现。我们可以把这种存储体系理解为创造特定的金凤花条件，以平抑物质和能流的不规则供给。

生物的进化过程可能还有另外一个趋势：更高的能效，就是说用相同的资源实现更复杂的建构。在资源出现稀缺时，生物体肯定要努力进

化出热力效率更高的机制。目前已有证据支撑这一假说。比如，很多细菌出于竞争资源似乎就进化出了热力效率更高的机制。虽然围绕个别生命形式的能效已有很多研究，但迄今好像还没有人系统研究整个人类史上的能效问题。这种缺失颇令人惊讶，因为早在19世纪热力学便已问世。显然，这对未来的研究者是个挑战。[7]

由于可能存在趋向更高能效的趋势，多种生物体已经找到了类似的解决方案。比如，俄罗斯科学家阿娜斯塔西娅·玛卡丽耶娃（Anastassia Makarieva）及其同事2008年发表的论文对3000多个物种的平均静息代谢率（静息状态下的功率密度）进行了比较。有趣的是，这种代谢率上下只有4倍的差距，虽然被研究物种的体重上下差距有20倍。其中最大的是大象（1瓦/千克），最小的是细菌（4瓦/千克）。因为大多数生物体的代谢率都集中在1~4瓦/千克，研究者于是认为有某种最优的代谢率存在，其值就在这一区间。接近这一值的当然可谓最适者。[8]相比之下，人的均值功率密度在2瓦/千克，所以正处于上述区间的中间位（中间位的意思是大多数生物静息代谢值集中的地方）。

获得更高能效通常是有代价的，即实体必须变得更复杂。例如，目前为减少汽车燃油消耗的努力导致混合动力汽车的设计更加复杂。当微生物学会用氧气更充分地利用生物分子中储存的能量时，也出现了类似的情况：这就需要更复杂的生化新陈代谢（因而成本也更高）。[9]显然，要更高效就必须更复杂，而后者也需能量才能做到，所以朝高复杂度的努力还是有限度的。

复杂度能够达到多高取决于生物体能够获得哪种类型的能源。对此，美国史学家约瑟夫·坦特（Joseph Tainter）及同事区分出两种能源，高增益能（high-gain energy）和低增益能（low-gain energy）。研究者虽强调二者不过可用能源连续体的两端，但高增益能属于蕴藏比较集中的那种，相对更容易开采，而低增益能则不是很集中，开采起来相对更费力。换言之，高增益能投资的回报相对高些，低增益能正相反。

由此产生的总体格局很简单。生物体若能获得相对集中的高增益能，便可达到更高的复杂度。但这种格局通常不能持久。过了一段时间以后，大多数生物体还是要恢复开采不那么集中的低增益能，开采成本较高，因此制约了其可能达到的复杂程度。根据研究者的说法，这种格局对生物进化和人类史均适用。[10]

更复杂的生命形式涌现不是一朝一夕、轻而易举的事情，因此，这种变化发生的频率不是很高。正如生命涌现本身颇为罕见——虽然可能不只一次——一样，更复杂生命形式的出现就更不同寻常了。各种眼花

缭乱的复杂物种能够在生物进化的过程中悄然登场，这似乎有悖上述一般规律，但所有这些互不相同的生物体其实共享着几幅基本的蓝图（baupläne），或称一般结构体系（general structural regimes），正是借助后者所有的物种才得以建构成形。这意味着所有复杂的生命形式都源自少数几种复杂的生物物种（而这少数物种则共有一个前世祖先）。

通过彼此间的互动，进化中的地质过程和不断拓展的生物物种共同塑造着地球的表面，并在此过程中创造出千变万化、错综复杂的金凤花条件。生物学家把由单个物种占据的生存条件称为“生态位”或“生态龛”（niches），而把更大一些的有多个物种共同谋生的区域称为“生物群落”（biome）。

最早系统界定动植物金凤花条件的科学家是亚历山大·冯·洪堡。洪堡界定的边界条件包括相同的平均气温、气压及其他因素，具备这些条件的地区适合某些具体的物种生息繁衍。[11]虽然很少有人了解洪堡在这一方面的开创性工作，但他所定义的许多条件至今仍被人们使用。比如，这些条件到现在还是天气预报的基础，而且人们在谈论气候变迁时也常常使用这些概念。

所有形式的生命体都被千变万化的自然界包裹着，但生命体细胞内部却有一个相对稳定的动态稳态体系。显然，所有形式的生命体都学会了在细胞内部维持自己的金凤花条件，这一点在所有生物界都惊人的相似。单细胞生物大多呈圆形，但更复杂的多细胞生物却进化出各式各样的形状格局。因为细胞相对较小，而且因为大多数细胞都悬浮在水中或被水包围着，所以它们不大受引力的影响，而更多受电磁力的左右。构成细胞外壁的分子通过电荷实现彼此吸引并造成表面张力，所以这种生物往往呈现出最小的外表。因为最小的外表要覆盖最大的身形，所以单细胞生物很容易就呈现圆形。由于引力对这种单细胞生物并没有多大的形塑力，所以其内部可能变得非常复杂。可一旦单细胞生物聚合成较大的生物体，便逐渐感受到引力的影响。因此，最大的植物和最大的动物都不在陆地，而只能蕴藏在海洋中，因为海水的浮力多少抵消了部分引力。

在整个生物进化的过程中，所有能够存活足够长的一段时间的生物都会设法改善自己的物质能量摄入，或至少不至于每况愈下。[12]这样的态度对存活是相当有益的，它能够帮助生物度过食物匮乏的拮据期。也许是受非随机消除这一铁律的影响，这种态度在某种程度上已经被刻入了生物的基因。但如果某个物种过于贪婪，总设法获取过多的物质和能量，那其周围的环境就会很快枯竭，从而危及生物的生存，还可能导致

灭绝。因此之故，随着时间的推移，大多数——甚至所有的——物种都学会了每次只获取比实际需要稍稍多一点儿的物质和能量，而不是过多，这也是自然选择的结果。如果真是这样，那我们不禁要问：这一天则是否也刻入了人类的基因呢？

攀登复杂性的金字塔（4）：生命

生命体不断重复着自我，先是把太阳能或地热化学能转化成其他形式的化学能，而后化学能又把物质改造成众多各种错综复杂的分子和分子复合物。这些分子还要履行其他众多职责，包括把熵以化学废料或低水平辐射的形式排放到宇宙太空。

复杂的生命体与其他简单形式的复杂存在有本质的区别，因为前者会主动地从外界获取物质和能量。这就需要精巧的分子机制，而生命体早已开发出一种内置的心向，并不断地改进着（就是要活着！）。因为资源有限，在某个时间点，生命体之间必然开始竞争。这种状况迫使生命体进化出更为复杂的机制，更注重提高效率和平衡成本收益，包括维持何种程度的稳定性和脆弱性。

在活性细胞中，通常不会预留很多能量用以打破化学键。细胞要维持非常精密的化学机能，但同时还会制造坚硬的骨架和起保护作用的多种器具。就植物而言，包括高大密实的枝干，果蔬通常有坚硬的外壳，而娇嫩的花朵则有花瓣。动物的机理与此相似，比如有薄弱的组织，也有相当坚实的骨骼，包括头骨和外骨骼，连最小的昆虫都有防护罩，龟有壳，珊瑚有礁。

动物自然要更专业一些，可能也更复杂，因为动物要从植物那里获得更多更复杂的物质和能量。杀死其他物种以求自存是更复杂生物体必须付出的代价。这一天则甚至导致了不同物种间的军备竞赛。于贝尔·雷弗在1991年曾有如下论断（第136页）：“更高级别的复杂系统有其固有的脆弱性，更容易受到伤害，且有某种特定的食物需求，所有这一切容不得它们丝毫放松警惕。生存已经变成了一份全职工作。”这种状况还导致大脑和通信技术发达起来，俨然也成了求生的策略，正是这一点帮助造就了人类文化和集体知识。如同历史其他的诸多方面一样，这也许是无法避免的。但这一策略的发生是有其历史节点的，其发生后造就了这样一个物种，既要回望历史，又须努力地探问宇宙演化的过程。

地球表面在过去40亿年的主要能流状况可归纳如下：来自地球内部的地热能慢慢地，但却非常肯定地，一直在减少。今天的地热能只有最初的10%左右，原因是最初的吸积热被释放到宇宙太空，而核衰变释放的放射热也在减少。相比之下，地球从太阳那里接收的太阳能增加了约25%左右。

在地球形成早期，地热能喷涌到地球表面的各个地方，强度都差不多。也就是说那时的赤道地区和南北极地区没有多大差别。但伴随地球内部开始降温，太阳辐射愈发增强。因为地球是球体，所以太阳辐射在热带地区表现最强，而在南北极地区表现最弱。由于从地球内部释放的热流在减弱，而来自外界的太阳能在增强，地球表面的温度梯阶也就随之增大，从赤道到两极的风流、水流也因此得到加强，反向亦然。地球的降温同样导致了地壳的分化，有些地方在地质上表现得更为活跃，而有些地方则更稳定。

地热能流启动了板块构造过程：大块儿的地壳在地幔对流作用下不断地移动。大气科学家托马斯·格雷德尔（Thomas Graedel）和保罗·克鲁岑（Paul Crutzen）对板块构造的历史总结如下：[13]

> 虽然证据还很粗略，但目前一般认为，板块构造运动已经历了三个阶段。第一阶段大约在距今38亿至16亿年之间，此时的辐射热流量要比当前值大好几倍。这种温度更高的热流造成了岩石圈密度较低，运动也更轻浮活跃，地幔对流强劲，很少潜没现象，许多较小的板块频繁相撞。第二个阶段发生在约26亿至13亿年之间，热流量的逐渐减少导致几大板块成形，但由于大洋板块和大陆板块彼此之间的密度和浮动性相差无几，所以较少大的板块活动。最后一个阶段离我们最近，是在距今13亿年以后发生的，此时大洋板块相对大陆板块的浮动性进一步降低，所以逐渐过渡到现代板块构造过程，出现了不少潜没和再生的现象。

板块构造运动的结果是，陆地面积逐渐增大，而海洋面积则相对减少。[14]究其原因，是由于通过板块构造过程，较轻的硅酸盐漂浮到较重物质之上形成了大陆，而较重的硅酸盐则沉入了海底。换言之，借助板块构造运动，地球将岩石过滤成轻重两个部分，较轻的岩石漂浮到上面形成了大陆。但时至今日，海洋仍占到地球表面积的约70%，只有剩下的30%属于陆地。因此从太空俯瞰，地球就像一个由水主导的球体，如图5.1所示。大陆在亿万年间的增长改善了陆地物种的金凤花条件。

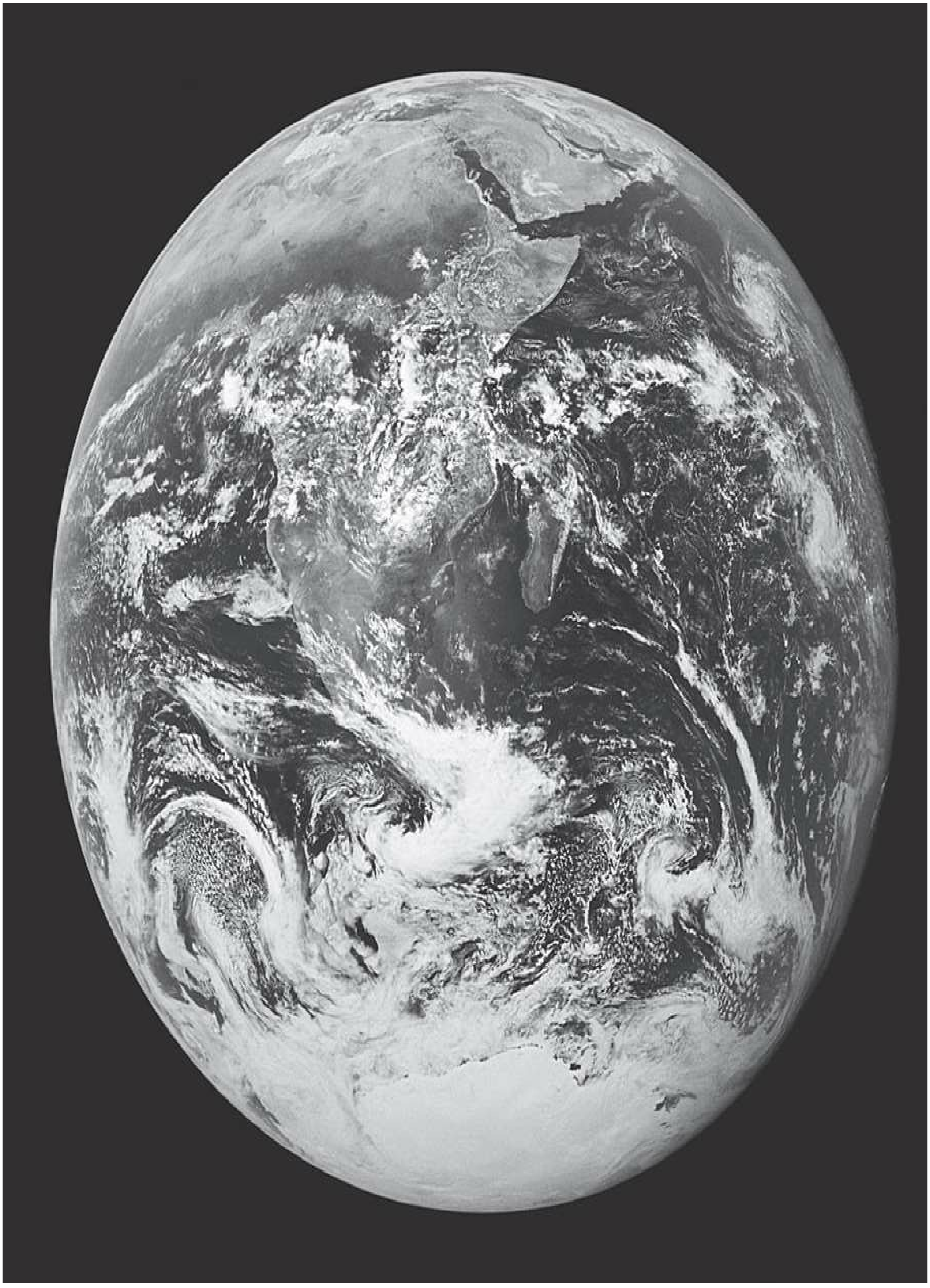


图5.1 阿波罗17号航天员看到的地球形象。其中地热和太阳能的效应清晰可见，包括各大洲的形状和沙漠的位置，这些构成适宜生命存在的金凤花条件（来源：美国宇航局）

地热流的减少使得黑烟囱的数量和活动都愈发地少了，因此仰赖黑烟囱提供物质和能流的海洋物种也日渐减少。与此同时，生命体也开始更多地使用来自外部的能流。伴随地表能源状况的改变，生命体也改变自身获取能量的方式，这一点貌似有些偶然。不管真实情况究竟如何，生命体似乎能够追逐能流的脚步，这确实是生命史上非凡的一幕。

能够反映这种能流变化的具体数字很难再找到了，甚至根本无从去找。因此，要回答这种非常根本的问题已经不可能了。比如，我们很想知道，在过去的45亿年里，地球内部散热和抵达地表的太阳能变化的速率究竟如何？其变化究竟是有规律可循，还是时而迸发时而衰减？我们还想知道，能够反映地表功率密度变化的曲线——从不为人知的那个数字一直到今日的60×10^{-4}瓦/千克——究竟如何？因此，以下的讨论目前还没有具体的数字支撑。

盖娅假说

当生命最初在地球上涌现之际，无生命的自然和有生命的物种越来越频繁地相互影响着。最早研究二者之间互动的先驱是20世纪早期俄罗斯科学家弗拉迪米尔·伊万诺维奇·沃尔纳德斯基（Vladimir Ivanovich Vernadsky，1863—1945），他详细阐述了“生物圈”（biosphere）的观念，而创造这一词汇的是奥地利地质学家爱德华·苏斯（Eduard Suess，1831—1914）。但直到20世纪80年代起，才真正有生物学家和地质学家开始系统研究这一思想。在自然科学里，这一研究思路被称为“地球系统”（System Earth）。[15]

早期生命对地表和大气层的影响相当有限。但随着生命的进化，其影响越发强劲。这种影响呈波浪式演进。第一波可能发生在20亿年前，当时的大气层出现了生命体制造出的最早的游离氧。第二波约发生在5.4亿年以前，那时各种复杂的生命体开始爆发。第三波大约发生在4亿年前，复杂生命体开始向陆地转移。从此以后，整个地球表面的地质过程均受到来自生命体的影响。例如，生命体会“吃掉”岩石，以把它们侵蚀掉，或通过微生物垫（microbial mats）的形式使土壤保持疏松。以上只是生命体影响地表的少数几个例证。也许颇令人惊奇，生命体甚至还影响到了板块构造过程。地表水也许就是由于生命体的作用附着在地表的，而水的存在为板块漂移起到了润滑剂的作用，因此板块构造才有可能实现。相比之下，地球的内部深层一直是无生命的世界，其形成过程从未受到来自生命的影响。

20世纪80年代，英国科学家詹姆斯·洛夫洛克（James Lovelock，1919—　）在反思上述效应的时候，曾提出一个颇为极端的说法，即生命体不但影响了地表，而且还在全球范围内创造并维持着自身赖以生存的金凤花条件。其中最值得关注的一点，是生命体制造了一个温度调节体系，使得对生命至关重要的液态水在地表存在了30多亿年，虽然同期来自太阳的辐射热提高了25%。洛夫洛克把生命体创造并维持自身生存条件的思想称为“盖娅假说”。盖娅是古希腊神话中大地女神的名字。

欲评估生命体对地表水体有贡献这一假说，我们有必要先弄清科学家们是如何解释地表长时期暴露在宇宙各种影响之下而能蓄积大量海水的。首先，地球与太阳之间的距离可谓恰到好处。若地球与中央恒星的

距离再近一些，那全部的海水早就蒸发到太空里面了。地球的大小也刚好适中，就是说地球有足够的引力吸附地表水。

水分子之所以能够在大气中循环是因为水蒸发的缘故。水分子上升到大气层，便会在光照的作用下分解为其原本的化学元素氢和氧。其中氧较重，所以要么留在大气层，要么滞留在地球的表面，而氢则肯定会遁入太空，因为氢太轻，所以地球的引力不足以吸附氢。若大气层中只有少量的游离氧或根本没有游离氧，那上述过程依然会畅行无阻。不过，在地球表面所有可用的物质——大部分是铁——与游离氧结合后，氧开始在大气中大量出现。一旦发生这种情况，游离氧将再次通过形成水分子捕获大部分游离氢，从而减缓氢的损失。随着时间的推移，这一过程将有助于保持地球上的水，同时也有助于大气中氧的产生。

此外还有另外一个过程。这一过程确有生命体从中斡旋，从而创造出富含氧气的大气层，有助于在氢原子逃逸到太空之前将其捕获。有些形式的生命体学会了借助阳光将二氧化碳分子分裂，并将产生的碳原子与水结合起来，从而形成了各种各样的有机分子，其中的一部分被埋藏在地壳中，剩余的氧气作为废物被排放出来。就像在阳光的作用下水分子分解产生氧气一样，由生命体制造的氧气在地表物质氧饱和后开始在大气中积聚。

上述两个过程均导致大气层中游离氧的涌现。但迄今，我们还不清楚究竟哪个过程的贡献更大一些，是阳光分离水分子的过程，还是生命体借助阳光和水分解二氧化碳的过程。但无论如何，所有科学家都认同：自20亿年起，生命体为创造富含氧气的大气层做出了重大贡献，且正因如此，很有助于保持地表水分。此外，大量彗星陆续降落到地球上可能也增加了不少水量，因此也弥补了氢逃逸太空造成的损失。

以上多个机制说明了地球上为何会有水存在，但却不能说明为何水呈液态而不是冻结成冰或变成气体。诚如洛夫洛克所指出，这一问题非常紧迫，因为在过去的45亿年间，太阳辐射增强了25%左右的量，而同期尽管有沉浮起落，地表温度整体却呈下降的趋势。根据洛夫洛克假说，其原因正在于生命体改变了地表的状况，而这种改变造成了整体的降温，首先是通过大量减少早期大气中的二氧化碳浓度。此举降低了二氧化碳造成的温室效应，所以哪怕太阳的辐射量增加也无力阻止整个地球变凉的趋势。其次，生命体的存在还有可能造成云量增加和雨量充沛，二者均有助于全球温度趋降。[16]

但若说生命体为自身的利益计有意在地表创造了金凤花条件则显得不是很可信，因为所有这些不同形式的生命体如何会借助所谓达尔文主

义的进化过程齐心协力地创造出一个全球体系呢？更何况达尔文主义的进化原理只对个体产生作用。在笔者看来，这一问题的答案其实非常简单。上述过程之所以发生是非随机消除原理发生作用的结果，凡破坏掉自身金凤花条件的物种均被非随机消除。换言之，那些把自己身居其中的生态位弄得不再适合居住的物种就自动地灭绝了。同理，凡是把自身生活条件加以改善或至少保持足够舒适的物种都存活了下来。当然，某个物质改善了自身的生存条件，其他物种的生活条件就会因之退化。如果这种改变对改变者本身也造成了负面影响，那做出改变的物种也会被消除掉。但如果不是这样，那改变本身则会自动进入一个正反馈机制，因而创造出对所有物种都有利的金凤花条件。

目前，我们有证据说明反馈机制能够创造或维持多个物种的金凤花条件，而不限于某个具体的物种。比如2006年，俄罗斯科学家阿娜斯塔西娅·玛卡丽耶娃和维克多·戈尔什科夫（Victor Gorshkov）提出了所谓生物泵理论（biotic pump theory），其中心思想是：天然林会蒸发大量的水，随后在森林上空凝结、变薄；由此产生的低气压会从海洋“吸入”大量的暖湿气流从而制造出亟需的降雨。这样，森林就显示出创造或维持自身金凤花条件的能力。还有一个例证。俄罗斯古生物学家亚历山大·马尔科夫（Alexander Markow）2009年提出，多样化的生态系统更有可能包含寿命更长的生物种属。较大的生物多样性更容易造成稳定的生态系统，从而为长期生存提供更好的条件。只要没有新的有机体出现并在短时期内嗜食掉生物多样性，这种方法就起作用了。

假如洛夫洛克的盖娅假说正确无误，那么盖娅的建设一定是一种反复试误的动态过程，且只要地球上有生命存在就会一直持续下去。因此，毫不奇怪，美国生物学家戴维·劳普（David Raup）强调指出，今天有超过全部物种的99%都已灭绝。这一切之所以会发生，是因为所有这些物种都无法在不断变化的环境中生存下来。[17]可以肯定的是，五次大规模的物种灭绝也消灭了大量物种。不过，从长远来看，伴随着沉浮起落，这一过程必然也催生了一大批在短时间内不破坏自身生存条件的有机体，甚至还可能改善生存条件。这一大批维护金凤花条件的物种当然也不是永远稳定。拥有强大创新能力的新物种可能会不断破坏这种平衡，并因此造成新的灭绝。

这样看来，具备所谓自我调节能力的“盖娅”实为达尔文进化的必然结果。生命体会在自身细胞内部创造金凤花条件，而“盖娅”则在全球范围制造同样的效应，二者之间具有惊人的相似之处，而这一点绝非偶然。这很有可能是所有成功地长期生存下来的物种内置的一种心向，即必须创造有利自身长期生存的金凤花条件。所有这一切不得不令人疑

惑：现今的人类究竟在对地球做些什么？洛夫洛克的重大关切之一正是这一点，这一点儿不让人感到惊讶。[18]本书行将结束时我们还会谈到这一点。

生命体的行为虽然舒缓但却矢志不移，这在很大程度上深刻地改变了地球表面多个地质过程，而强大的地质力量当然也深刻影响了生物进化和人类史。比如，板块构造过程造就了洋流的变化，而后又影响到全球气候。造山运动导致陆地上的地理差异愈发复杂多样，而这促进了更大规模的生物多样性，改变了刮风和降雨的格局，因而制造出各式各样的小气候（microclimates）。板块构造的断裂带往往蕴藏有稀有矿物质，通过板块构造被带到地表。毫无疑问，这种稀有资源——尤其是金银——的分布不均，对人类历史产生了决定性的影响。

从外界获取能量现象的出现

在生物史的最初阶段，所有生物体都由单个细胞组成，这些单细胞只能依靠恰好来到身旁的物质和能流来维持生命。这种细胞的现代代表被称为“原核生物”（prokaryotes），即没有细胞核的细胞。然而，在进化的某个时刻，一些单细胞开始相互协作，从而形成更大的结构。这样，著名的叠层石（stromatolites）就形成了，其中包括大量成团的生活在浅海的细胞。古代叠层石的遗骸可追溯到大约34亿年前，而其近亲叠层石至今还大量生活在澳大利亚沙克湾（Shark Bay）西海岸。显然，通过粘在一起的策略，叠层石已经在适宜的金凤花条件下生活了数十亿年。直到今天，许多生物，包括细菌和人类，通常都是为了保护自己不受其他生命形式的侵害而聚拢到一起。事实上，正因为叠层石如此顽强地贴在一起，我们才能到现在还能找到它们的遗迹。相比之下，即使当代的许多单细胞生物可能已经灭绝，却没有留下任何遗迹。

古代聚拢成团形成叠层石的微生物可能与组成叠层石的现代蓝藻（cyanobacteria）非常相近。如果这样的话，我们由此便可知远古的微生物已经学会捕捉阳光并利用它来构建新的复杂实体。这一过程被称作“光合作用”或“光能合成”（photosynthesis）。也就是说，约在34亿年前，有些生物体已经摆脱了对地热物质和能量的依赖，并开始从外部获取太阳能。荷兰科学家弗兰克·尼尔称这种获取能量的新方法为“光养生物体系”（phototrophic regime）。[19]

这是生物进化中的一项重大进步。因为这一新策略的代价是要创造出新的复杂形式，使它们能够收获阳光，所以这一策略肯定得有某些好处。首先，光合作用把叠层石定位在大气、陆地和海洋三界接口的地位，从而能够收获最大梯度的可用能量梯阶。这使得叠层石摆脱了对黑烟囱的依赖，其实，那时的黑烟囱的数量已经开始减少，活动也不像以往那样频繁。与此同时，我们怀疑依赖黑烟囱的生物体已经成倍增长，从而导致物质和能量竞争的日趋激烈。所以，任何一种进化了的获取物质和能流的新方法都会给生物体的生存带来益处。

采取光合作用引发的获取能流方式上的创新导致了生物史上的一次重大事件，生物学家称之为“物种形成事件”（speciation event），随后便发生了适应辐射（adaptive radiation）：一大批新的物种出现了，并纷

纷占领了新的生态位。这是一种非常普遍的进化机制，所以，只有当创新有利于生物体更有效地获取物质和能量并保持自身的复杂性时，这种创新机制的普及才有可能发生。根据荷兰古生物学家约翰·德·沃斯（John de Vos）的研究，这一机制不仅适用于生物进化，也适合于人类史。[20]由于光合作用创新，微生物在数量上出现大幅增长，分化出的种属也越来越多。

由于这些新的生命形式的不断活动，越来越多的氧气被排放到大气中。与此同时，大气中游离二氧化碳的水平却在下降，因为作为光合作用的一部分，生命体开始越来越多地把这种气体转化为有机物。长期以来，大气中的氧会迅速与海洋中的可溶性铁结合形成不溶性铁化合物，其中许多化合物仍然以氧化铁的形式存在。这种氧化铁至今依然是我们铁的主要来源。此外还有另一种观点：现在越来越多的人认为，从事光合作用的微生物可能直接氧化了铁，形成铁质带状沉积岩，而不会把游离氧释放到周围的环境中。且不管确切的机制是什么，在大部分可溶铁与氧结合后，地球表面再没有其他化学物质能够与氧大量地结合。从大约20亿年前起，大量的氧气开始在大气中集聚，或溶解到海洋中。此外，在阳光的影响下，大气中的水分解过程也会导致游离氧的增加。值得注意的是，在同一时期，板块构造过程开始在地球史上第一次清晰地分别出陆地和海洋。这可能是巧合。

得益于古代蓝藻和其他从事光合作用的微生物捕获能量的活动，地球上开始储备相当规模的太阳能。由太阳能驱动的新陈代谢对生物体积聚生物量（biomass）而言非常有效，所以在地壳部分以石油储备的方式留下了大量的能量沉积（energy deposits），被称为“元古宙时期的石油储备”（Proterozoic oil deposits）。元古宙指古地质时期，从25亿年前至5.5亿年前。这种石油储备——最早的可追溯到大约13亿年前——在世界多地多有发现，包括加拿大、中东、俄罗斯和澳大利亚。[21]

对许多生物体而言，游离氧在大气和海洋中含量的提升意味着一场灾难，因为氧气会毒死它们。因此，这种生命形式要么灭绝了，要么到深海或深层地下寻找庇护所，因为那里的氧气含量相对较低，还勉强能够生存。但对其他生物体而言，氧含量提升则造就了新的金凤花条件。这些生物开始使用氧气实现内部有机物的燃烧。这种所谓的有氧呼吸（aerobic respiration）释放的能量大约是无氧呼吸（anaerobic respiration）的16倍。因此，有氧呼吸的创新为这些生物体带来了巨大的优势。于是就导致了整个地球表面大规模的适应辐射。就这样，光合作用开始成为大部分生命体的能量驱动。但这一创新的代价是生物体变得更复杂了，也因此更加脆弱。

大气中氧含量的提升有利于体积更大、更复杂的细胞涌现。大约20亿年前，最初有专业功能的细胞问世了，比如有的擅长光合作用，有的擅长能量代谢，再后来又聚合成体积更大的细胞。这样，伴随新的体积更大的细胞的涌现，其复杂组块的种类和连接也变得更加多样化，因此大大提升了有机体整体的复杂度。这一进展被称为细胞内的分工。这种所谓的真核细胞（细胞内有明显的细胞核）开始在细胞核储存更多的遗传信息。有种被称作“线粒体”（mitochondria）细胞器专供能量代谢，而另有称为“叶绿体”（chloroplasts）的细胞器擅长捕捉阳光并制造生物化合物。叶绿体可能原属蓝藻的一种，但后来与真核细胞融合从而失去了原有的自主功能。线粒体的先祖很有可能是擅长有氧呼吸的单细胞，后来也经历了类似的融合过程。

如同更古老的蓝藻一样，所有新生的包含叶绿体的真核细胞已不再仰赖来自地球内部的物质和能流，而转向捕获太阳辐射并借以生产生物分子。因此，这种生物体就可以适应多种金凤花条件了。它们要得在海洋中靠近水面的地方以捕捉足够的阳光，但不能太靠近阳光，免得被晒死。而光合作用的创新使得原核细胞和真核细胞都出现了适应辐射的现象，种类愈来愈多，且能在不同的条件下使用不同波长的阳光。

在某个特定的时间点，真核细胞在繁殖过程中学会了集中使用遗传资源。这是我们今天所知的有性繁殖的开始。这种生殖机制的一个主要优点是它允许更快的遗传变化，而另一方面，还能在环境迅速变化时求得生存，包括改变与其他物种争夺资源的方式。没有人知道最早的有性繁殖是何时出现的。但生物史上的这一重大事件应该发生在6亿年前，即在复杂生物体大爆发之前，详见下一节。[22]

生物食物网的出现

在距今5.75亿年至5.4亿年之间，生命体经历了一个突然变得更复杂的时期。各种各样的大型多细胞有机体纷纷涌现，它们有着惊人的各式各样的器官。这是我们今天所知的复杂生命的开始。所有这些生物均由真核细胞组成，而真核细胞具备服务整个有机体的各种功能，如口、消化道、脑、眼、腿或鳍。[23]

显然，对这样的生物体来说，维持更大复杂性的代价还要大，但其回报是获得了更大的生存概率和繁殖机会。由此看来，提升复杂性对某些物种而言是一种生存策略，但并不适合所有的物种。能够获取足够的物质和能量并建立起防范其他物种的金凤花条件自然会带来一些收益，但最终还是要看这种收益是否大于创立和维持新式复杂存在的付出。

更复杂的生物体一旦形成，通常就没有办法再回到原初的简单状态了。只有极少数的生命形式后来变得不那么复杂了。但即使发生这样的事情，也是某些生物物种在非常特殊的条件下不得不做出的选择，比如身处黑暗洞穴，眼睛就变得不那么重要了，所以后来就干脆不要眼睛了。但就我所知，迄今还未见任何复杂生物体在分化成原初组成细胞的同时还能继续活下去并独立繁殖。

受到发展路径的制约且没有回头路的状况被称作路径依赖（path dependency）。这种现象其实并不限于复杂生命体。事实上，路径依赖概念对整个大历史的演进都完全适用。如前所述，恒星、行星和星系均可解释为沿着某些线索演进的宇宙结构，因为它们也会受到内、外部条件的限制，比如质量、大小和邻居。我们甚至可以认为，整个宇宙史就是一个由具体自然常数界定的路径依赖过程，只允许某些类型的复杂性涌现。假如引力太强了，或电磁力（electromagnetism）弱许多，那整个宇宙的演进就会截然不同。

我们还是回到复杂生命涌现的问题。复杂的生命体不可能一方面解体，又能够同时作为独立的单细胞存活下去，因为之前通过合力已经成为复杂有机体，细胞在走向专业化的同时也变得相互依赖。因此，复杂生命体的涌现可被视为一种细胞间分工的出现。因为原核细胞从未形成如此复杂的生物体，所以真核细胞的内部分工一定是细胞间分工出现的

绝对先决条件。复杂生物体的涌现还要归功于大气和水中出现游离氧。这样，细胞不须直接与外界接触便能接受氧，否则细胞就不会存活。这就等于细胞学会了利用更有效的有氧代谢。

真核细胞的基因组（genomes）比原核细胞的基因组大得多，这一点在多细胞生物的进化中可能起到了重要作用。细胞内包含的DNA越多，其把握的信息也就越多，因之就可以实现更复杂的编码。而另一方面，细胞越复杂，也就越需要实现信息组织化。虽然原则上每个真核细胞都包含有整个有机体的全部遗传程序，但复杂生命体在制造专业细胞时往往仅使用遗传信息的一部分，确保只激活那些制造特定类型细胞必需的基因。这样，相互联系的真核细胞群体就变得更专业，因而功能也更多样化了。

生物进化中有两次大爆发曾导致多细胞生物体复杂度的大幅提升。第一次大爆发被称为“埃迪卡拉纪”（Ediacaran），以澳大利亚南部的埃迪卡拉山命名，因为这里曾发现历史上最古老的化石。埃迪卡拉纪的生物都有柔软的身体，却没有骨头或外壳。这一阶段最复杂的生命形式出现在迄今5.65亿年至5.42亿年之间。目前，我们还不清楚这些生命体该被视为植物还是动物，也不清楚它们的物质和能量来源是什么。但它们似乎已经很好地适应了从海洋中提取有机营养物质，当时这种营养物质颇为丰富，还因为那时没有其他的生物体来嗜食它们。

第二次大爆发发生在大约5.4亿年前，有一系列具备骨骼和坚硬外壳的复杂生物体在此间问世。这一时期被称为“寒武纪生命大爆发”（Cambrian explosion of life forms），因为这一时期生物体的出现速度特别快。这一命名得自威尔士（拉丁文称“坎布里亚”），因为此期的化石在这里被首次发现。寒武纪化石代表了现代复杂生物体所有的蓝图和结构设计，另外还有一些设计未能进化至今。目前，我们尚不清楚埃迪卡拉纪和寒武纪物种之间有什么关系。不过，似乎在寒武纪生命大爆发时期，较大的埃迪卡拉纪物种多已灭绝，而一些较小的埃迪卡拉纪生物可能演变成了寒武纪物种。[24]

驱动上述两次大爆发的选择压力（selective pressure）是当时出现了生物体改善自身获取及使用物质和能量的新机遇。因此，埃迪卡拉纪和寒武纪的发展导致大量新的生命形式出现，而且形状日益复杂。虽然我们目前还不清楚埃迪卡拉纪的物种究竟吃什么，但几乎可以确定无疑的是：寒武纪的动物越来越多地彼此相食。在这一过程中，它们开发出了更灵敏的传感器，特别是眼睛，可以用眼睛来判断其他物种身上是否有优良的物质和能量。这是地球史上第一次有生命体开始对周围环境形成

视觉形象。寒武纪动物还进化出了更令人瞠目的攻击和防御手段。换言之，物种内部和物种之间的军备竞赛由此开启，直到今日仍看不到竞赛结束的那一天。不过有一些物种进化出一种速度快、反应灵、身形小的生存策略，比如只有4厘米长的一种叫皮凯亚虫（Pikaia gracilens）的鱼类，这是迄今所知最早的脊索动物（chordate）。现在，人们一般认为，所有的脊椎动物（vertebrates），包括人类，都是诸如皮凯亚虫之类物种的后裔。

同时，大量的生物——主要是原核生物，但也有一些真核生物——依然保持较小的体型且结构相对简单。显然，它们在其特定的金凤花生态位还能获得足够的物质和能量。因此，生命之树分化成种类越来越多的生物群落，既有相当简单的，也有更为复杂一些的。

从大历史视角观之，我们在此可以看清物理体系与生物体系之间的一个主要区别。尽管所有复杂的生命形式都会表现出明显的形态和功能的分化，但诸如恒星、行星或星系等物理体系可以有形式的分化却无功能的分化。比方说，某些恒星把整个星系聚拢在一起，这对我来说没有任何意义可言。但要说到复杂生命体，我就特别好奇究竟是什么器官起了什么作用，比如手对整个机体的运行有什么用，因为这特别有意义。

最早的植物和动物都是在埃迪卡拉纪，特别是寒武纪出现的。植物和动物之间的主要差异均与其获取物质和能源的方式有关，由此便产生了其各自不同的路径依赖关系。几乎所有的植物都是自养生物（自我喂养），因为它们能从阳光中获取所需的能源，从无生命的环境中提取所需的物质。除了极少数的例外，植物一般不嗜食其他植物。植物有特别的器官，通常是叶子，能够主动地从阳光中获取能量。植物的叶子一般都长在特别有利捕捉阳光的位置，而其光合作用的机制也持续不断地做出调整。还有些植物的器官扎到土里或漂浮在水面去获取自身所需的物质，而植物的根则提供了结构上的稳定。有许多植物，尤其是内陆的物种，还需要某种架构借以连接获取阳光的器官和采集物质的器官。由于植物都有这些基本的需求，所以差不多所有植物的生长蓝图是相近的。因为植物不需要移动和捕捉猎物，所以它们没有复杂的大脑。其实植物要想移动真的很困难，因为捕获太阳能通常需要很大的外在表面。因为太阳辐射由光子而不是物质组成，所以植物能够产生的物质熵相对很少。因此之故，现代植物的功率密度只有约0.09瓦/千克。

与植物相反，动物要从其他生命形态——要么是植物，要么是其他动物——中获取能量和物质。因此，动物收获的是储存在生物分子中的浓缩的高增益的化学能。作为代价，动物不得不维持昂贵的大脑、肌肉

和消化道，它们共同产生相当数量的物质熵。动物虽然以富于建设性的方式利用捕获来的能量，但对那些不幸被嗜食的物种而言，动物的破坏性还是越来越大。出于寻找植物或捕捉其他动物的需要，动物进化出了颇有目的性的器官和活动方式，包括眼睛、大脑、腿或鳍。它们需要武器来击败猎物，还要有适当的消化道来提取所需的物质和能量。因此，许多动物都需要更有效的进攻和防御策略。而植物也开始抵御掠食者，例如制造毒素，所有这一切都是正在浮现的生物间军备竞赛的一部分。除了植物和动物，真菌、微生物和病毒也出现了。真菌以死去的动植物为食，而捕食性微生物和病毒则开始从其他生物——包括植物、动物和其他微生物——中提取所需的物质和能量。

上述进展可归纳如下：一个日益复杂的食物网出现了，其中越来越多的生物体依赖他者来获取物质和能流。植物和微生物从无机界获取所需的物质和能量，而动物及微生物则以捕食前者为生，并共同创造了一个嗜食与被嗜食的更为复杂的生态结构。因此之故，生命体学会了通过掠夺植物和微生物，从而更加有效地利用太阳能。这一复杂食物网的出现，标志着一个全新的、更加多样化的金凤花条件体系的诞生，也意味着对物质和能流的利用日益多样化了。

随着时间的推移，食物网逐渐演变成一个食物金字塔。在金字塔的底部，是种类繁多的植物和微生物，它们被为数不多的动物吃掉，而后者又成为极少数食肉动物的口中食。伴随其中的每一个步骤，都有大量的高质能被转化为低质能，都意味着熵的增加。有些高质能浓缩在化合物中，比如脂肪和肉。这倒不是说单位化合物中的能含量一定就高，而在于这种化合物比植物制造出的大多数碳水化合物更容易消化。因为这种高质能相对稀缺，所以食物金字塔的地位越高，能够仰仗高质能为生的动物就越少。相比之下，微小的单细胞微生物能从许多不同的生物体中提取物质和能流，所以其数量通常都很大。

由于动物更复杂，人们往往会觉得动物的功率密度要比植物高。当然，现代动物的功率密度差不多是2瓦/千克，而植物平均只有0.09瓦/千克。若从历史发展的角度更详尽地研究这一问题当然很有意思。但目前的情状是：虽有不少学者在量化食物网中的物质和能流以及食物网特定部分的能量转换方面已经做了大量工作，但以能流为线索对整个生物进化中的食物网做系统的历史分析似乎还没有什么作为。

生命体制造出更多的复杂性，也同时产生了更多的废料（即熵）。虽然低品质热能可以通过辐射的方式排放到宇宙中，但生命体产生的物质废料，如各种形式的排泄物以及尸体，却只能留在地球。化学氧化、

沉降（sedimentation）和板块构造的物理过程在某种程度上促进了相当一部分废物的循环利用，但是大部分废料是被食腐类生物清除掉的，因为对后者而言，其他生物产生的物质熵仍然可以用作食物。就这样，生命体和地球共同创造了自己的废物处理体系。这一体系对地球上生命体的持续存在是一个绝对先决条件，因为如果没有它，生命体很可能在很久以前就被自己制造的废物窒息了。

我们或许会问：宇宙中其他什么地方是否会有生命存在，而后来却被自己制造的废物毒死了呢？我个人认为，生物废弃物回收体系的出现是盖娅假说必不可少的一部分，即生命体会创造并维持其生存所必需的金凤花条件。由此，我们再次认清了生命体与无生命自然之间的主要区别。虽然整个宇宙实际上充当着一个巨型熵垃圾桶的角色，但星系、恒星或无生命的行星从来没有进化出自己的垃圾解决方案。

多细胞生物体的涌现

看来，埃迪卡拉纪的适应辐射事件和寒武纪生命大爆发很可能都是地表环境突然变化造成的。在埃迪卡拉纪开始之前，整个地球还处于一种深度冰冻期，前后持续了大约6,000万年。这一极寒的时期被称为“雪球地球”（Snowball Earth），因为在那段时间，大部分地球表面会结冰。在雪球地球上，陆地上没有生命存在，而严寒也同样严重制约了海洋生物的存活机会。但后来不知何故，发生了大解冻，从而使巨大的生态位突然降临到侥幸活下来的物种中间，于是引发了细胞间分工的重大创新及随之而来的适应辐射。[25]

事实上，雪球地球将至少有两波也许多达四波的冷周期，其间也穿插着温暖的时段。根据大气科学家托马斯·格雷德尔和保罗·克鲁岑的说法：[26]

> 现今可确认最早的冰期（但不一定是真正最早发生的冰期）大约在距今2,700~2,300 Myr（1Myr =百万年BP）之间。此次冰期似乎波及面很广，但支撑的数据还不是很完整。冰期出现的原因也不确定，可能是由于太阳光度一度偏低，也缺少大块的陆地折射阳光辐射，温室气体的浓度较低，但这些都还只是猜测，没有证据支撑。
>
> 此次冰期结束（约在太古宙和元古宙时期的交界点）后，地球显然过渡到暖期，在长达1,000 Myr年间没有永久积雪或冰冻。可确认的第二季冰期发生在距今950Myr年前，随后在距今820~730Myr和640~580Myr年间又发生过两次。晚前寒武纪是地球上造山运动的主要时期，此时的冰期可能与板块构造运动和大陆断裂有关。

因此，在距今30亿至20亿年前，当大陆块开始形成、游离氧在大气中出现之时，第一个寒冷期就降临了。这不由得使人怀疑是否大气中的氧气以及生命体的活动把地球变冷了。游离氧含量的上升是光合作用的结果，前者上升必然伴随着大气中二氧化碳含量的下降，二氧化碳被转

化成生物分子，因而造成了温室效应减弱。此外，游离氧有可能与大气甲烷（一种非常强大的温室气体）结合产生二氧化碳（一种远没有前者那么强大的温室气体）和水，这也可能起到了地表降温的作用。还有，大气平流层中因阳光照射刺激游离氧而成的臭氧层开始对生活在浅海中的生命体形成保护，这使得此类生物体更接近海水的表面并因此收获更多的阳光，于是又产生了更多的氧。最后，但并非最不重要的是，真核生物的出现也可能有助于气候变化，例如通过产生更多的氧，对这一点也不能排除。[27]

2005年，美国科学家亚历克斯·巴甫洛夫（Alex Pavlov）及其同事提出，雪球地球的形成可能还有一重宇宙因素，即星际间的氢气及尘埃团大量出现在银河系附近。[28]在太阳系绕银河系中心运行一周的2.3亿年间，地球至少遭遇了8个这样的云气团。这种云气团的涌入遮蔽了大量阳光，就如同一地每年有3次火山喷发、遮天蔽日一般，只不过前者持续的时间要长得多。其总体效果正是雪球般的地球。

显而易见，关于这一时期地球为什么会变成雪球的问题现在还没有最终的结论。但同样显而易见的是，所有研究者面对这一问题都是从能流和金凤花条件入手。其实针对另一个问题——为什么地球没有被冻结？——情况也是这样。有科学家认为，暂时性火山活动的增加造成了地表升温。还有人主张，是板块构造过程把大陆迁移到变暖的地方。但无论如何，雪球地球的终结最终导致了生物活动增加，海洋中的氧含量因之突然上升，从而为多细胞生命体的创新提供了充足的燃料。这正是埃迪卡拉纪和寒武纪适应辐射大爆发的原因。

就我们所知，上述过程在生物进化过程中是独一无二的。寒武纪生命大爆发之后，地球上的金凤花条件再也不适合新蓝图、新物种的涌现了，因为但凡新物种出现，就很快被既有动物物种吃掉了，根本容不得新物种进化出适当的防御机制。显然，寒武纪的幸存物种享有一个“无与伦比的开端”。我们在下文会看到，这种“无与伦比的开端”乃生物及人类进化史上一个比较普遍的现象。这一机制也可以解释为何所有已知的生命形式似乎都来自同一个祖先。[29]

大脑与意识的出现

具有大脑与意识的动物的涌现是大历史上的一次重大转折，最终造成动物有能力反思万物历史的局面。总的来说，大脑开启了一种新的可能性，即在紧密相连的神经元细胞三维结构中，创造世界及自我的意象。大脑还使得那些长了脑子的物种具备分析情势、制定计划并选择优先行动路线的能力。此外，通过号令尾、鳍或四肢，大脑还能使生命体实现有意识的移动并达成自身的目的，而这对不具备此类信息处理器官的物种来说是完全不可能做到的。最后，但并非最不重要的是，借助记忆，这些物种能够从过去的经历中习得经验、吸取教训，并因此尝试以更新颖的方式行事。

对于大脑和意识的出现，我们的理解还相当模糊，虽然有关这一问题的研究相当不少。[30]1986年，于贝尔·雷弗提出一个非常简单的模型，可能有助于我们更好地理解这一问题；2005年，荷兰生物化学家卡雷尔·范·达姆也独立设计出类似的模型。[31]他们的模型始于一个人们普遍接受的观点，即在某个时间点，单细胞生命体出现了，身上配备有能够探测食物或危险的传感器。后来，细胞体又长出了一个或多个小尾巴，借助尾巴，它们就可以游离或趋近探测到的东西，当然这取决于它们是否喜欢。一旦传感器和与尾巴实现互联互通，一种新的机制就成形了，于是微生物凭借这一机制进入了非随机消除过程，因为一定有某种生物做得更好些，所以就存活了下来。此外，这些微生物还具备了学习（在此，学习乃基于经验调整自身行为的意思）能力，它们会储存过去事件的信息，并依此确定自身的行动方案。1980年，美国生物学家小丹尼尔·柯施兰德（Daniel Koshland, Jr.）曾有这样的表述：[32]

> 细菌没有长期记忆，因为它们不需要长时间记住什么东西。细菌的平均寿命只有数小时，所以根本没有机会记住昨天报纸的内容或自己子女的名字。因为要在竞争激烈的世界中求得生存，所以细菌身上没有多余的基因。不过，细菌储存记忆的时间显然是进化优化了的：它的记忆很短，因为它只需记得最近发生的事儿；但又不太短，因为它要精确评估化学梯度。

可如果这些微生物进化出两个连接到同一条尾巴上的传感器，尤其是这两个传感器发出了朝不同方向行进的指令，那又会怎样呢？我们会期待传感器与尾巴之间出现某种更精细的连接，以便决定采取什么行动。为了有效做到这一点，就需要建立一个由传感器感知到的情形的意象，借助意象就可以做出决定了。一旦发生这种情况，生物史上的生物就第一次形成了有关周围世界的更超然的意象。意象更超然，是因为在刺激进入和随后的反应之间总有一段时间从事反思，然后决定下一步行动。这种意象即最初形式的意识。从此以后，凡是对这种意象形成体系做出的任何改变都必须着眼该物种的长期生存，必须有助于改进既有的获取物质和能量的方式。[33]其中包括初步的数据存储记忆库以及能够实施更有效控制的器官，以便让生物体真正地趋近自己想要的东西。

多细胞生物可能是沿着相似的路线进化的。一些充当传感器的细胞与其他细胞连接起来，就可以处理信息并将命令发送到尾部。一旦发生这种情况，多细胞复合体就会进一步进化出大脑、绘图功能和意识，实现行为控制——最终进化至和你我一样的有机体。只要这些图像及其对生物体新出现的行为发生了影响，提高了其生存和繁殖概率，就说明与外部世界现实一致的意象处理有了积极回报。2013年，有学者发现证据表明，大脑中被称为决策机构的外侧缰（lateral habenula）在进化意义上属于最古老的部分之一，如果还称不上是最古老的部分的话，这一发现支持我们的上述说法。此外，神经细胞连接着现代大脑和肠道，其中有一个颇为隐蔽但异常强大的神经系统，即所谓“第二大脑”，虽然体积比大脑小得多，却发挥着调节物质和能量摄入的功能，时刻监测着肠道内的状态。[34]

如果第一和第二大脑最初出现时只是一个体积很小的脑，那也不足为奇。随着时间的推移，二者在体积上都有所增加，但其所处的位置却分开了。不过二者仍保持联系，虽然生物体的体积变大了，食物摄入器官与消化器官之间的距离也增加了。最重要的传感成像器官（眼睛、耳朵、鼻子）伴随进化都趋向了第一大脑，结果后者变得更大。当然，要把这些传感成像器官搬到肚子附近就会降低其功效，而把它们放置在靠近食物摄入的地方显然是有利的，因为这样就可以使生物体更便捷地趋向自己所需的物质和能量，还能避开危险或将敌人打翻在地。

大脑的进化生成了我们今天所熟知的头部，头部可灵活移动并装载多种传感器，可以探测来自多个方向的信号。这些重要的传感器都位于大脑附近并与大脑紧密相连，同时它们也非常靠近口腔。相比之下，肠脑依然小得多，所以直到最近才被科学家们注意到，虽然在日常生活中，肠脑的功能早已被人们所认识。这个小小的肠脑仍在履行着重要的

功能，最重要的是有关物质和能流的决策，比如决定什么时候吃，什么时候不吃。因此，生命体在做出决策时关注肠觉（gutfeeling，或译“直觉”）是完全有意义的，也不足为怪，而且任何个体的紧张情绪都可以用肠道压力得到表达。

随着时间的推移，生物体进化出多种多样的传感器，借助传感器，生命体学会了探索地球的每一个角落。然而，只有人类能开发工具，不仅提升了自身传感器的效能，而且解开了电磁波的部分频谱，尤其是红外和紫外辐射从低到高的频率，这在先前其他的任何物种都是不可能的。

情感、直觉、创造力、艺术、幽默、宗教及同情心的起源

那么，我们该如何解释诸如直觉、创造力和同情心等情感的涌现，以及由情感触发的幽默、艺术和宗教等反应呢？我们若进一步思考本章前面讲过的意识兴起的机制，就很容易想象上述复杂情感是如何涌现的了。一旦越来越精细的传感器越来越多，其发送给大脑的信号就会变得愈发复杂、多变，甚至可能相互矛盾。这一切不可避免地造成了更复杂的世界意象，因此就需要一个更复杂的决策过程。用分子的语言表述就是，分子的种类增加了，分子的反应也更多样，而这些反应造就了一系列更复杂的情感，有极美好的情感，也有非常不好的情感，取决于具体的情形。大脑因此增大了，神经连接也变得更复杂，包括肠道内的第二大脑。所有这一切都是自然选择磨炼出来的，因为面对危险而感觉良好的动物自然比那些及时预警并规避风险的动物存活的概率要小得多。这种情形可能是人们重视追求幸福的根源所在。

印象和感情的种类增多也使得冲突信号的可能性加剧了，从而呼吁更多更复杂的构图和决策。日益增长的大脑和不断改进的沟通也为社会协调提供了更大可能性。要解决感觉输入愈发嘈杂的问题，就需要一种能够快速并正确决策的机制，有了这种机制肯定非常有利。我个人认为，这就是直觉和创造力得以进化的缘由。直觉是一种选择好的解决方案的机制，而创造力就是整合不同来源的多种信息并把通常被人认为是互不相干的信息合并成一个新的意象。所有这些都会使有关世界的意象更精确，从而为解决面对的问题提供更切合实际的方案。

随着时间的推移，大脑在许多方面都变得更加有效：有关当前世界的意象更精致了；存储的意象和解决方案多了，因此也就记住了历史经验；意象库中既有好的希望得到的东西，也有不那么喜欢的东西。这样，大脑就能够越来越多地绘制有关过去、现在和未来的图景，以及他者可能的思考和感受（同情心）。这也为大脑的创造力提供了基础，包括艺术（把东西制作得很特别）、幽默（把东西放到意想不到的通常被认为是不合适的地方）、宗教（对生活中无力解释或控制的一切而感到好奇、不确定甚至焦虑，宗教即为此所做的解答）和哲学（思考宇宙万物，但与之保持一定距离），甚至包括反思大脑本身的工作原理。

具备此类大脑的个体间不断改进的交流也在很大程度上强化了上述过程。而且只要上述过程有利于激发社会凝聚力和彼此的合作精神，甚至齐心协力共同探讨有利下一代持续生存的生物与自然之间关系的发展思路，那么这样的物种面对严酷的自然和社会选择就会有更大的存活概率。

生物复杂度的提升与扩展

自寒武纪生命大爆发以来，有无数复杂的物种兴起又灭亡，而所有复杂物种都被为数众多的简单生物体包围着。大多数，甚至所有的物种，都处于盘根错节、错综复杂的食物网之中。虽然这一时期也出现了许多较小规模的创新，随后也有适应辐射的现象发生，但最终只有少数几个重大创新导致了全新生物体的问世。因此，生物进化的故事虽在细节上极为复杂，但撮其纲要却又相当简单。[35]

生物进化经历了多次沉浮起落。其中最突出的有五次物种大灭绝事件，有的竟造成90%的物种彻底灭亡，为新物种的兴起腾出了空间。物种大灭绝事件的原因至今还不是很清楚。目前的解释有内因说，比如食物链崩溃，也有外因说，比如突然的高强度的火山喷发、板块构造造成大陆和海洋格局的不断变化、陨石撞击，甚至包括附近超新星爆发的影响。但无论造成生物大灭绝的原因为何，随着时间的推移，生命体总是出现反弹，随后又造成一个类似的生命体系，层次分明且为数众多，从简单到复杂，从微生物到植物和动物，而总的趋势是朝向更复杂的植物和动物演进。

寒武纪生命大爆发以后，从未见有微生物进化成更复杂生物体的现象发生。显然，从那时起，就一直有某种选择压力在发生作用，这种压力决定了微小的生物体只能保持简单的状态。而对已经很复杂的植物和动物来说，提升自身的复杂度则是很有效的求生策略，虽然要维持高复杂度的生存代价也很高。

在过去五亿年的时间里，板块构造运动早已减缓，而火山爆发的现象也变得不再频繁和强烈。板块构造运动有一定的规律性。受来自地球内部能量的驱动，所有的大陆块都至少聚合过三次，从而形成了一个超大陆和一个特大的海洋，但随后又分开了。[36]已知最古老的超大陆被称为“罗迪尼亚”（Rodinia），这个词在俄语中是“祖国”的意思，大约存在于距今11亿年至7.5亿年之间。距今6亿年至5.4亿年之间，有“潘诺西亚”（Pannotia）超大陆存在，在希腊语中的意思是“全南”，因为它位于南半球。此后也是离我们最近的是“潘吉亚”（Pangea）超大陆，希腊文的意思是“整个地球”，这一超级大陆块在2.5亿年至1.7亿年间是一个连续的整体。

对生活在这种不断移动的内陆的生物而言，上述格局可谓影响深远。在那个所有大陆都联结在一起的时代，所有物种都可以自由地迁徙，同种间还可以自由地杂交，于是导致了多样性减少、同质化提升。而一旦超大陆被再次打破，许多生物物种会感到愈发地孤立，而由此会产生新的物种，甚至新的物属（genera）。超大陆的形成对生活在浅海的海洋物种不利，因为在其形成期，浅海的疆域会随之大幅减少。板块构造过程也对包括气候在内的地理状况产生深刻影响，而这些变化都会影响到生物的进化。

经过了数十亿年，太阳的光辐射有增强的趋势。但地球却并未因此而显著升温，而只是伴随板块构造过程、米兰科维奇循环及生命体的效应出现了些许波动。太阳系绕银河系中心运行的轨道还是大致有规律的，造成其对地球气候的影响相对稳定；偶尔有较大的天体落到地球上，甚至附近可能的超新星爆发，这些因素对地表状况可能也有一定的影响。此外，由于潮汐摩擦的影响，地球自转减慢，导致昼夜变长。所有动物都已进化出适应这一天体节奏的生物钟，它们一定是感受到了适应的压力。总的来看，生命的故事在此一次又一次地上演，而其背后的大图景却是能在适当的金凤花条件下流过物质，以及多种复杂实体的兴衰起落。

征服陆地

直到约4亿年前，所有复杂生物体还只得生活在海洋中，海水帮助生物体抵御还很强的太阳紫外辐射。不过，大气中游离氧的不断增加终于导致平流层中出现了一个臭氧层，后者能够保护生命体不受太阳紫外辐射的侵害。我们还不清楚平流层中的臭氧层是在什么时候厚到足以保护生命体的，但在4亿年前，已有一些富于冒险精神的植物物种离开海洋的保护，开始进军陆地，从而占领了整个地球。紧随其后的是动物。不过很有可能的是，在这些无畏的物种之前，早有大量微生物率先行动了，虽然我们不知道具体是在什么时候。这些微小的生命体可能在地质记录中只留下很少的遗迹，甚至什么都没有留下。

这一转折并不十分轻松。对此，美国生物学家詹姆斯·古尔德（James Gould）和威廉·基顿（William Keeton）曾有如下描述：[37]

> 生活在陆地上的主要问题都和对水的大量需求有关。水对植物比对其他生物更显重要。例如，植物所依赖的各种原材料——光、二氧化碳气体、固定氮（fixed nitrogen）、矿物质等——通常都需要稀释。因此，植物进化出了巨大的表面积——体积比，这样就可以最大限度地吸收光和养分。

结果，植物蒸发了大量需要再补充的水。水对生物体虽然很重要，但水的供应还只是生物体开始在陆地上生活时必须面对的问题之一。其中最突出的问题是，生物体必须做好抵御其时（还）非常有害的太阳辐射，并同时努力获取足够的物质和能量，这样才能保证自身的复杂性能够维持下去。出于相同的理由，动物体也感觉到转折的诸多困难。因此，陆生植物和动物都必须进化出能够保证良好生存环境的“太空服”，这不仅仅是为了自己，还为其刚出生的身体尚娇嫩的后代计。为此，植物进化出有外壳包裹的种子，而动物则开始产下有硬壳的蛋，里面有供尚未出世的子女成长的水环境。直到许久以后，才有了新的进化创新，即将胚胎保存在自己的体内，这样，包裹受精卵的硬壳就变得多余了。

要保障下一代陆生生物体的生存，就需要引入新的复杂机制，而新

机制的引入使得养育子女特别昂贵，尤其是脊椎动物。结果，生物体养育的后代比以前少了，父母也开始更悉心地照顾子女，以提高后者在生存竞争中存活的机会。鱼类尽可以把成千上万的子女撒在大洋中自谋生路而不必担心由谁抚养，但生活在陆地的动物却不能老套照搬，因为就这样把子女撒出去就等于弃之于死地，毕竟陆地上的生存条件不像海洋那样理想。因此，能够保护和哺育新生儿的动物就具有了竞争优势。这种生存方式的特点是父母要长时间地照顾子女，而选择这种生存方式也培育了父母——尤其是母亲（因为母亲的生物投资最大）——与子女之间强烈的情感依托关系。这种情形还激发了性伴侣之间的爱和依恋，前提是这种纽带关系有助于保护自己的子女。

因为许多创新在物质和能源方面都是昂贵的，所以这种创新一定有某种回报。首先，陆地上可以捕捉到的太阳辐射量比海洋中的要大。因此，这些新的“旱鸭子”（landlubbers）可以收获比水中更多的能量。第二，生物体来到陆地，可以避开水中异常激烈的竞争。由于陆上生活有这些优势，所以几乎整个地球表面都布满了生命体，除了缺少水源和气温过低或过高的地方。

地球史上出现了富含氧的空气，也使火第一次得以燃烧起来。但只要陆地上没有生命存在，也就没有什么可以燃着的（偶尔干涸的富含死亡生物量的湖泊也许除外）。换言之，火只有在有足够可燃生物量的干燥的地方才可能燃烧。然而在此后的4亿年里，火随新的情势发生了变化。在石炭纪（Carboniferous）和二叠纪（Permian）时期（距今3.6亿年至2.48亿年间），大气中的游离氧含量高达35%，使体型巨大的生命形式成为可能，但同时还有巨大的火灾。氧含量不可以再进一步提升了，因为那样会导致自燃。这种负反馈回路导致了自发的自我调节过程，从而限制了大气中游离氧的百分比。在那一段游离氧旺盛的时期结束后，地球上的氧含量在过去的1.5亿年里一直比较稳定地保持在21%左右。[38]

在泥盆纪（Devonian）和石炭纪时期（距今4.08亿年至2.9亿年间），出现了大量死亡生物量累积的现象。那时，温暖的沼泽里生长着大量的树木。植物和树木死亡后，就被埋在了酸性的水里，后来上面又覆盖了厚厚的沉积物。这就是后来驱动了工业革命的煤田。不过在石炭纪结束以后，就很少有这样大规模的生物量累积发生了。人们通常把这种下降的趋势归因于潘吉亚超大陆形成期间造成的大幅降温，此时的气候不利于温暖的森林密布的大沼泽存在。我怀疑这种变化与随后二叠纪（距今2.9亿年至2.48亿年间）动物的出现也有关联，因为此时的动物可以轻松地吃掉植物——它们已经进化出专门的消化道。[39]而在从前，动

物和微生物只能消化已经死去的植物。相比之下，中东地区巨大的石油储备则很可能是约1.5亿年前形成的，其原料是生活在温暖的浅海中海洋生物的尸体。[40]

日趋复杂的生命体

尽管生命在随后的3亿年里从未停止过进化，但进化的速度与寒武纪生命大爆发相比就再也称不上壮观了。在地球的表面，金凤花条件虽有波动，但长期的趋势是降温。不过，生物进化的一般格局并没有改变。随着时间的推移，物种的种类有所增加，其间还有一些较大的以及众多较小规模的物种灭绝事件。

然而，在这种一般格局中，较小的创新往往也会导致适应辐射。例如，能制造花蜜的花的出现使得基因交换的成本更低，因为此时可不再依赖风吹散大量的花粉，而只需少量的花粉便能传递至其他植株。之所以少得多的花粉就能奏效，是因为此时的传递由特定的昆虫有选择地从植株传播到植株，而作为回报，昆虫从植株那里获得了花蜜。显然，植物产生花蜜的成本比制造大量花粉更便宜，也更有效。同理，植物结出了果实便吸引了动物，而动物吃了果实又传播了植物的种子，因为种子经过动物的消化道是不会坏的。诸如此类的发展使植物群和动物群之间产生了相当多的依赖关系。这样的创新导致适应辐射，从而很快传遍全球，造成了生命形式的不断变化。

在此期间，许多植物和动物都学会了以独特的方式创造或适应当地或区域的金凤花条件，均以有利自身的生存为原则。比如，有些植物采取了大量密生的方式求得集体生存，使捕食者根本无法完全将它们压垮。亚历山大·冯·洪堡及其后的查尔斯·达尔文将这些物种称作“群生植物”（social plants）。[41]读者也许还记得此前的蓝藻曾采取聚拢成团的方法提升自身的生存概率，故而形成了叠层石。有些动物也采取类似的策略抱团求生。此时的“自然选择”就成了最弱的、易受攻击的个体遭非随机消除。植物、动物和微生物纷纷聚拢，共同创造了整体的生物群落，如草原、森林、冻原、珊瑚礁，各有彼此不一的金凤花条件。植物也为自己创造了良好的环境，例如通过落叶在土壤中形成腐殖质，从而有利于自身的持续生存。也有许多动物，包括昆虫，学会了积极构建宜居环境。一些常见的例子包括鸟类筑巢、兔子挖洞、蚂蚁和蜜蜂建造复杂的住所。

在这一过程中，一些动物的大脑变得越来越大，也越来越复杂。因为大脑从消耗能源的角度来看非常昂贵，所以动物具备大脑一定有某种

优势可言，这种优势正在于它能使动物更有效地获取物质和能量并同时避免成为他者的口中食。换言之，有大脑的动物更善于觅食和保护自己。虽然大脑最初是在水环境中涌现的，但大脑的进化场所却主要是在陆地，显然，陆地的生活更富挑战性，也更有利可图。作为这一进程的一部分，陆地动物通过交流变得关系更加紧密，更富合作精神，也能够更灵活地适应当前的环境。有些动物在习得这些特长后，又成功地迁回海洋，比如海豚和鲸鱼。

动物吃什么类型的食物，在很大程度上决定了其发展的轨迹。动物若以植物为食，就相对更容易找到吃的，但这种食物的能含量较低，也很难消化。因此，大型的食嫩叶动物（large browsers）往往要吃很多才能填饱肚子。找到这种食物资源不是特别困难，但这种动物通常要常年追逐青草绿树才能为生。要实现自卫，这种动物仰仗多头聚拢和奔跑速度，它们的武器也只有角和蹄。这种动物通常成群结队一起生活的原因正在于此。因此，它们需要大脑才能完成上述任务，包括建立一套群居的规矩。

与此正相反，食肉的捕食性动物则以高质量的易于消化的物质和能量为食。这种食物可能很难捕捉到。因此，食肉动物需要跑得快、有力量、有出色的身体协调能力和有效的武器，如锋利的牙齿。因为它们的食物很难捕捉，大型食肉动物通常喜欢单独或小组活动。它们通常不需要任何额外的防御武器，因为它们的攻击性武器也有助于抵御来自其他动物的威胁。所有这些都限制了食肉动物成为群居动物的可能性。

大约在2亿年前，能够恒定其体温的温血（或恒温）动物问世了。恒定了体温，这类动物就可以控制体内的生物化学反应稳步进行，哪怕体外的温度发生变化，而且有能力调节自身排放熵——即低水平辐射——的速率。但所有上述功能都是有代价的，即此类动物会消耗大量的能。恒温对脑量较大的动物特别重要，因为复杂的神经系统必须有恒定的体温做保障。[42]我们还不能确定恒温的特性是什么时候出现的。有生物学家称，有些恐龙——那时候恐龙的种类非常之多——已经具备了恒温的特性，而且随着时间的推移，鸟类和哺乳动物就是从恐龙进化而来。

在距今20,000万年至6,500万年间，恐龙是当仁不让的统治者，但此后一颗小行星撞击到地球上并造成“核冬天”（nuclear winter），恐龙的时代就结束了。小行星撞击引发大规模的火山喷发，几乎同时在印度发生，由此产生的大量熔岩如今被称为“德干地盾”（Deccan Traps），足见其对全球均造成了影响，而这有可能也是导致恐龙灭亡的原因之一。

真的，我们很怀疑，尤卡坦（Yucatán）半岛一隅发生的那次有名的小行星撞击是否强力触及地幔，其势之猛烈，以致在地球的另一端也会发生火山喷发。但无论实情如何，因为早期温血的哺乳动物能够幸存下来，说明它们比冷血动物更能适应随之而来的寒冷气候。[43]

由于哺乳动物能够适应新的金凤花条件，这种装备了大脑的温血动物随后很快便分散至世界各地，虽然世界各地的生存条件颇为不同。在这一过程中，有些动物的脑量又增加了。以下两章的重点即在其中的一个物种，看他如何攀越至食物金字塔的顶端并统治整个世界的。

参考文献

Allègre, Claude & Scheider, Stephen H. 2000. 'The evolution of the Earth.' In: Levy, David H. (ed.) The Scientific American Book of the Cosmos. New York, St. Martin's Press & London, Macmillan (219–26).

Allen, Timothy F. H., Tainter, Joseph A. & Hoekstra, Thomas W. 2003. Supply-Side Sustainability. New York, Columbia University Press.

Allman, John Morgan. 1999. Evolving Brains. New York, W. H. Freeman & Co., Scientific American Library Series, No. 68.

Broda, E. 1975. The Evolution of Bioenergetic Processes. Oxford & New York, Pergamon Press.

Carroll, Robert. 2000. 'Towards a new evolutionary synthesis.' TREE 15, 1 (27–32).

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, MA, Harvard University Press.

Conway Morris, Simon. 1998. The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals. Oxford, Oxford University Press.

Darwin, Charles. 1985. The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. Harmondsworth, Penguin Books (1859, original title: On the Origin of Species … etc.).

Fox, Douglas. 2009. 'Dawn of the animals.' New Scientist issue 2716, 11 July (39–41).

Fox, Ronald F. 1988. Energy and the Evolution of Life. New York, W. H. Freeman & Co. Gell-Mann, Murray. 1994. The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex. New York, W. H. Freeman & Co.

Gershon, Michael D. 1998. The Second Brain. New York, etc., Harper.

Gould, James L. & Keeton, William T. 1996. Biological Science, 6th edn. New York & London: W. W. Norton & Co.

Gould, Stephen J. & Eldredge, N. 1989. Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History. New York & London, W. W. Norton & Co.

Graedel, T. E. & Crutzen, Paul J. 1993. Atmospheric Change: An Earth System Perspective. New York, W. H. Freeman & Co.

Humboldt, Alexander von. 1997. Cosmos, vol. 1, Foundations of Natural History. Baltimore, Johns Hopkins University Press (1858).

Kasting, James F., Whitmire, Daniel P. & Reynolds, Ray T. 1993. ‘Habitable zones around main sequence stars.’ Icarus 101 (108–28).

Koshland, Daniel E., Jr. 1980. Bacterial Chemotaxis as a Model Behavioral System. New York, Raven Press.

Lane, Nick. 2009. ‘Why sex is worth losing your head for.’ New Scientist issue 2712, 13 June (40–3).

Lovelock, James E. 1987. Gaia: A New Look at Life on Earth. Oxford & New York, Oxford University Press.

Lovelock, James E. 2000. Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine. Oxford & New York, Oxford University Press (1991).

Lovelock, James E. 2006. The Revenge of Gaia: Earth’s Climate Crisis and the Fate of Humanity. New York, Basic Books.

Makarieva, A. M. & Gorshkov, V. G. 2006. ‘Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land.’ Hydrology and Earth System Sciences Discussion 3 (2621–73).

Makarieva, Anastassia M., Gorshkov, Victor G., Li, Bai-Lian, Chown, Steven L., Reich, Peter B. & Gavrilov, Valery M. 2008. ‘Mean mass-specific metabolic rates are strik-ingly similar across life’s major domains: Evidence

for life's metabolic optimum.' Proceedings of the National Academy of Science 105, 44 (16994–9).

Markow, Alexander V. & Korotayev, Andrey V. 2007. 'Phanerozoic marine biodiversity follows a hyperbolic trend.' Palaeoworld 16 (311–18).

Mindell, David A. 2008. Digital Apollo: Human and Machine in Space Flight. Cambridge, Mass. & London, MIT Press.

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions. O'Donoghue, James. 2007a. 'Ediacarans: The "long fuse" of the Cambrian explosion?' New Scientist issue 2599, 14 April (34–8).

O'Donoghue, James. 2007b. 'A forest is born.' New Scientist issue 2631, 24 November (38–41).

Osborne, Roger & Tarling, Don. 1995. The Viking Historical Atlas of the Earth. Harmondsworth, Penguin Books.

Pavlov, Alexander A., Toon, Owen B., Pavlov, Anatoli K., Bally, John & Pollard, David. 2005. 'Passing through a giant molecular cloud: "Snowball" glaciations produced by interstellar dust.' Geophysical Research Letters 32, 3 (3705).

Perkins, Sid. 2009. 'The iron record of Earth's oxygen: Scientists are decoding the geological secrets of banded iron formations.' Science News 175, 13 (24–8).

Potts, Rick. 1996. Humanity's Descent: The Consequences of Ecological Instability. New.York, William Morrow & Co.

Priem, Harry N. A. 1993. Aarde en Leven: Het Leven in relatie tot zijn planetaire omgeving.– Earth and Life: Life in Relation to its Planetary Environment. Dordrecht, the Netherlands, Boston & London, Wolters Kluwer Academic Publishers.

Pyne, Stephen J. 2001. Fire: A Brief History. London, The British Museum Press.

Raup, David M. 1993. Extinction: Bad Genes or Bad Luck? Oxford & New York, Oxford University Press.

Reeves, Hubert. 1986. L'heure de s'enivrer: L'univers a-t-il un sens?

Paris, éditions du Seuil.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Reich, Eugenie Samuel. 2005. ‘Interstellar gas cloud linked to Snowball Earth.’ New Scientist issue 2487, 19 February (9).

Romein, Jan Marius. 1937. ‘De dialectiek van de vooruitgang. Bijdrage tot het ontwik-kelingsbegrip in de geschiedenis’ In: Het onvoltooid verleden: Kultuurhistorische studies. Amsterdam, Querido (9–64).

Rutgers, Michiel, Gulden, Hanneke M. L. van der & Dam, Karel van. 1989. ‘Thermodynamical efficiency of bacterial growth calculated from growth yield.of.Pseudomonas oxalaticus OX1 in the chemostat.’ Biochim. Biophys. Acta 973.(302–7).

Smil, Vaclav. 1991. General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization. New.York, John Wiley & Sons.

Smil, Vaclav. 1999. Energies: An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization. Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2002. The Earth’s Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change. Cambridge, Mass., MIT Press.

Stopper, Colin M. & Floresco, Stan B. 2013. ‘What’s better for me? Fundamental role for lateral habenula in promoting subjective decision biases.’ Nature Neuroscience, DOI: 10.1038/nn.3587.

Stucki, J.rg W. 1980. ‘The optimal efficiency and the economic degrees of coupling of oxidative phosphorylation.’ European Journal of Biochemistry 109, 1 (269–83).

Swimme, Brian Thomas & Tucker, Mary Evelyn. 2011. Journey of the Universe. New Haven & London, Yale University Press.

Tainter, Joseph A., Allen, T. F. H., Little, Amanda & Hoekstra, Thomas W. 2003. ‘Resource transitions and energy gain: Contexts of organization.’ Conservation Biology 7, 3 (4). www.consecol.org/vol7/iss3/art4.

Vernadsky, Vladimir I. 1998. The Biosphere. New York, Copernicus Springer-Verlag.

Vos, John de. 2004. ‘Evolution of man: The adaptative radiation model.’ In: Rubio Jara, Susana & Baquedano Pérez, Enrique (eds.) Miscelanea en homenaje a Emiliano Aguirre, vol. 3, Paleoantropología, Madrid, Museo Arqueológico Regional (406–13).

Walker, G. 2003. Snowball Earth: The Story of the Great Global Catastrophe That Spawned Life as We Know It. New York, Random House.

Ward, Peter D. & Brownlee, Donald. 2004. Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe. New York, Copernicus Books (2000).

Westerhoff, Hans V., Hellingwerf, Klaas J. & Dam, Karel van. 1983. ‘Thermodynamic efficiency of microbial growth is low but optimal for maximal growth rate.’ Proceedings of the National Academy of Sciences 80, 1 (305–9).

Wicander, Reed & Monroe, James S. 1993. Historical Geology: Evolution of the Earth and Life through Time. Minneapolis/St. Paul, West Publishing Company.

Zalasiewicz, Jan & Williams, Mark. 2012. The Goldilocks Planet: The Four Billion Year Story of Earth’s Climate. Oxford, Oxford University Press.

推荐阅读书目

Allman, John Morgan. 1999. Evolving Brains. New York, W. H. Freeman & Co., Scientific American Library Series, No. 68.

Conway Morris, Simon. 1998. The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals. Oxford, Oxford University Press.

Hazen, Robert M. 2012. The Story of Earth: The First 4.5 Billion Years, from Stardust to Living Planet. New York, Viking.

Lovelock, James E. 1987. Gaia: A New Look at Life on Earth. Oxford & New York, Oxford University Press.

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions. Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Zalasiewicz, Jan & Williams, Mark. 2012. The Goldilocks Planet: The Four Billion Year Story of Earth’s Climate. Oxford, Oxford University Press.

[1] 本章构建历史发展脉络的数据有多个来源，系数世纪以来地质学和生物学研究（包括生物化学）的结晶。

[2] 奥地利科学家英格尔伯特·布罗达（Engelbert Broda，1975）和美国科学家罗纳德·福克斯（Ronald Fox，1988）在数十年前曾有专著对此进行总结。近年来，瓦克莱夫·斯米尔已成为这一方面的最重要的作者；2005年，荷兰科学家弗兰克·尼尔曾以能量体系为线索对生命史和文化史进行总结。

[3] 2007年，俄罗斯古生物学家亚历山大·马尔科夫指出：海洋属生物自5,500万年前有大幅增加，参阅Markow & Korotayev (2007)。

[4] 有关“复杂适应系统”的定义，参阅Gell-Mann (1994), pp. 16.。

[5] David Christian (2003)，私人通信。

[6] Broda (1975), p. 41.

[7] 参阅Westerho., Hellingwerf & van Dam (1983)及Rutgers, van der Gulden & van Dam (1989)。这些研究者曾受到瑞士药理学家约尔格·斯塔奇（J.rg Stucki，1980）的启发，后者曾计算过细菌热力学优化策略的理论模型。

[8] Makarieva, Gorshkov, Li, Chown, Reich & Gavrilov (2008).

[9] 确有一些在没有变得更复杂的情况下提高效率的事例。例如，从电子管到晶体管可能就是这样的转变。但我不知道在生物界是否发生过类似的转变。

[10] Tainter, Allen, Little & Hoekstra (2003). 同时参阅Allen, Tainter & Hoekstra (2003)。

[11] 亚历山大·冯·洪堡的金凤花条件包括：等温线（系有史以来第一幅等温线图，含等值平均温度线）、等偏线（磁偏角）、等倾线（磁倾角）、等地温、等温和等压线，以及等温和等冬温线（连接具有相同的夏均或冬均气温所在地的线）。

[12] 比较Chaisson (2001), p. 32。

[13] Graedel & Crutzen (1993), pp. 32-33.

[14] Ward & Brownlee (2004), p. 201.

[15] 比较Vernadsky (1998); Carroll (2000); and Priem (1993)。

[16] 无机过程和生命体在何种程度上会影响大气中的二氧化碳水平，并因之在亿万年的尺度上有助于保持行星的温度相对稳定，这是一个还有争议的问题（可参阅Allègre & Scheider (2000), p. 222)。同样有争议的是同期水的保持情况。洛夫洛克认为生命体对此有巨大贡献 (2000, p. 128), 但Kasting, Whitmire & Reynolds (1993, pp. 118-119)同意缺少富含氧的大气层行星失去水分的速率要快一些，但同时主张，失水本身是一个缓慢的过程，（哪怕没有生命体的贡献）地球至今也不会完全干涸。

[17] 参阅Lovelock (1987 & 2000), p. 96及Raup (1993)。

[18] 参阅Lovelock (2000 & 2006)。

[19] Niele (2005), p. 11.

[20] De Vos (2004).

[21] 加州大学古生物学博物馆网站（University of California Museum of Paleontology website）：www.ucmp.berkeley.edu/bacteria/cyanofr.html.

[22] 根据尼克·莱恩（Nick Lane）的一篇评述文章（2009），在真核细胞刚刚问世的时代就已经出现了性行为。

[23] 2009年，有学者提出，动物可能在距今8.5亿年前就已进化成形，但在冰川时期之前总处于边缘地位，是冰川改变了动物的生存环境，参阅Fox (2009)。

[24] 可参阅Gould & Eldredge (1989); Conway Morris (1998); O’Donoghue (2007a)。

[25] 可参阅Walker (2003)。

[26] Graedel & Crutzen (1993), p. 194.

[27] 参阅Perkins (2009)。

[28] 参阅Pavlov, Toon, Pavlov, Bally & Pollard (2005)和Reich (2005)。

[29] 所谓“无与伦比的开端”与“领先者必滞后律”截然相对，后者是荷兰史学家扬·罗曼（Jan Romein）1937年提出的。

[30] 我个人认为，有关大脑进化最精简凝练的概述是Allman (1999)。

[31] Reeves (1986), pp. 184-186, Karel van Dam (2007), 私人通信。这一模式非常接近现代计算机模拟所得到的模型，对多个过程实施了控制，可参阅大卫·敏德尔（David Mindell）的相关描述 (2008)。

[32] Koshland (1980), p. 2 and p. 144.

[33] 1980年，小丹尼尔·柯施兰德在其著作中得出的结论非常接近于贝尔·雷弗和卡雷尔·范·达姆提出的模型，尤其是第145页以后的文字，但他却没有深入阐发。

[34] Gershon (1998), Stopper & Floresco (2013).

[35] 对这方面进展有交代的生物学教科书很多，有详有略。我个人最欣赏的教科书是Wicander & Monroe (1993) and Gould & Keeton (1996)。

[36] Tuzo Wilson, 转引自Wicander & Monroe (1993), p. 194。

[37] Gould & Keeton (1996), p. 612.

[38] Pyne (2001), p. 7.

[39] 比较Potts (1996), p. 21。有关地表植物简史，可参阅O’Donoghue (2007b)。

[40] Osborne & Tarling (1995), p. 104.

[41] Von Humboldt (1997), pp. 346.., and Darwin (1985), p. 135.

[42] Wicander & Monroe (1993), p. 449.

[43] 1992年，柯特·韦德尔希姆（Curt Wiederhielm）就提出尤卡坦的小行星撞击与造成“德干地盾”的火山喷发之间有因果关系。大卫·韦伯（David Weber）在一篇未发表的论

文《德干地盾起源论》（Theory for the origin of the Deccan traps，2008）中主张，印度恰好处于地球的另一端，所以这种因果关系是非常可能的，因为那里的震波最集中。

第六章
早期人类史：已知最复杂实体的涌现

引言

以“地球升起”的胸怀去反思和构建人类史，是以整体的视角拷问人类的共性，这样的历史自然与诸多传统历史叙事不同。大多数学术史都从距今6000年或5000年前的某个时间点讲起，因为从那时起，人类开始有了最古老的文字记录。而此前没有文字的时代被称为“史前”（prehistory），属于考古学及古人类学的研究范畴。但正如漫长的生物进化史早期阶段曾目睹多个重大进展一样，漫长的人类史早期阶段——约始于400万年前——同样见证了许多重大变革，尤其是从类人猿阶段主要靠基因和行为的渐变到现代人类社会格局的巨大变迁。本章讨论这些重大变革，而过去1万年的人类史将在第七章中加以讨论。[1]

人类史深受自然环境的影响，其中包括大陆块和海洋的不断变化；气候变迁；饮用水的供给；特定植物、动物和微生物的栖息地；土地的性质，包括土壤、矿产资源、山地或平地、河流、距离海洋远近、是否常有地震和火山喷发；以及最后——但并非不重要：是否有陨石撞击甚至超新星爆发事件发生。所有这些——可能还有许多没提到——状况或事件都多少表现出一定的规律性。虽然有些性状对人类保持自身的复杂性并不总是有益，但迄今还没有糟糕到完全破坏了人类的生存环境。

随着时间的推移，人类学会了创造、操纵和利用各式各样的自然条件服务自身的生存。人类生存的金凤花条件也因之变得日益错综复杂，而这些条件确保了人类的生存和繁衍。因此，人类史标志着生物进化的一个全新阶段。这是因为，在整个生命史上，还没有任何其他生物体能够在这么短的时间里如此深刻地改造地球表面。人之所以能够做到这一点，是因为人有无与伦比的处理、储存和传递海量信息的能力并以此服务各种目的，这样，人类积累的知识和技能远非地球上其他任何动物所能企及。这一过程被称作“文化”（culture）。虽然也有不少动物表现出

各种形式的文化学习能力，但只有人类运用这种能力的程度至深、范围至广，不仅塑造了自身的历史，而且还改造了周围的自然环境。因此，人类的确是地球上涌现出的最复杂、最富适应能力的物种。

人区别于其他生命体的特征

人类能够创造出史无前例的复杂性是有其生物学基础的，这一基础正在于：在所有生活在地球上的动物中间，人的大脑最强。人兼具草食动物和肉食动物的特点，所以能够进化出最大、最复杂的大脑（按脑与体重的比例计）并统治世界，这应该不是偶然。人与人类亲缘最近的黑猩猩最主要的差别是，相对于体重，人的脑量足有黑猩猩的3倍，而且人的大脑更复杂。虽然人的大脑能够进化到今天的程度是多种互不相干的地质和生物演化过程刺激所致，但进化的总体趋势是不变的，那就是肯定会出现一个物种，脑量更大且更复杂。

我们的大脑由大量错综复杂地联结在一起的细胞组成，科学家们至今还没有弄清细胞间彼此合作的细节。人类的大脑比任何其他动物的脑都要更复杂，功能也更强大，便于更准确地描绘感知到的世界、实现交流沟通并协调、适应自身的行为。因此，庞大而复杂的大脑使人类能够更有效地获取物质和能量，创造出前所未有的复杂性，包括改造当前环境，使其变得更符合自己的需求和心愿。[2]

有很大的脑量也有缺陷，即消耗大量的能。人类大脑的平均功率密度达15瓦/千克，而身体部分的功率密度只有2瓦/千克。[3]美国神经科学家皮埃尔·马吉斯崔蒂（Pierre Magistretti）、鲁克·佩勒林（Luc Pellerin）和让-鲁克·马丁（Jean-Luc Martin）曾这样描述：[4]

> 虽然大脑只占体重的2%，但它要接受心排血量的15%，全身耗氧量的20%以及总葡萄糖利用量的25%。人脑的均值血流量为57毫升每100克每分钟，大脑要从动脉血液中提取约50%的氧气和10%的葡萄糖。

这种巨大的能量消耗一定会为机体带来很大的好处。不然的话，大脑早就被非随机淘汰掉了。但事实是，伴随人脑变大，人口的数量却增加了，虽然人类并不具备诸如角、蹄、毒液之类的生物武器。显然，时至今日，因为有了大脑，人类业已获得巨额的物质和能量回报，远远超过大脑本身的资源消耗。

大脑的主要优点是它能够运行复杂的软件，原则上可以根据具体情况迅速做出调整。这使得有大脑的动物变得更灵活且更具适应性，从而比其他生物更有效。这一点与生物进化中适应的主导机制正好相反：在生物界，是基因变化导致行为变化；而在人类，则可以通过改变当前世界的意象实现自身行为的调整。换言之，人类因为有了文化，所以不必再等待自发的基因变化才能使少数幸运者挺过变化了的生存条件，而其余的成员都只能灭绝。人类只需改变自身的行为，而不是他们的基因。

但文化机制要做到有效，文化软件就必须与他人分享，包括与后代分享。因此，提高大脑效率一定与改善交流沟通同步进行。2004年，大卫·克里斯蒂安提出了“集体知识”（collective learning）这一概念借以描述上述过程。在克里斯蒂安看来，集体知识适用于所有人类，就像自然选择（即非随机消除）适用于全部生物进化史一样，而且“文化学习”（cultural learning）的速度主要取决于有多少人被联结到一起，以及这些人之间有多少种联结方式。[5]

集体知识并非人类独有的特征。其他许多动物，包括猴子和猿，都以多种方式从事“文化学习”。目前，研究人员正在评估这种学习的质量。但从长时期历史演进的角度考察其他动物中间是否也存在“集体知识”的现象似乎还毫无进展，主要是缺乏有效证据。[6]不过初步看来，人类似乎经历了更为复杂的文化学习过程。这可能与下述事实有关：虽有许多动物幼崽会模仿成年动物的行为，但后者很少有主动向下一代传授知识的；而在人类中间，把集体知识传授给下一代的做法却有效得多。为提升这种能力，人类之间还曾展开斗争，主要是围绕集体知识的控制和文化发展方向问题，甚至至今仍争斗不只。

在生物进化过程中，基因中存储了新出现的遗传语言，就为基因假情报（genetic disinformation）开启了绿灯。同理，在人类史上，一旦出现以象征符号为基础的语言且能不断改进，就为基于符号制造假情报（symbolic disinformation）提供了可能性。因此，人与人之间的信任关系，或彼此欺骗，就成为人类史上的一个重大主题，尤其事关能否保持自身复杂性、能否获取足够的物质和能量、能否维持自身的金凤花条件等重大问题的时候，就更是如此。

随着时间的推移，文化学习必然会导致另一过程的启动，我称之为“文化遗忘”（cultural forgetting）。其实，并非每一种共享的知识都能流传到现在。与此正相反，从亿万年的尺度看，有数不清的所谓集体知识都已经丢失了。若不是这样的话，那人类史的建构倒也容易了，因为我们可以随意提取无尽的知识细节。不过那时，我们的大麻烦就变成了

如何使自己不被既有的知识压垮了。

集体知识还会引入多个层次的新的不确定性。1986年，威廉·麦克尼尔对此有如下表述：[7]

> 使用符号实际上松动了外在现实与人的直观反应之间的密切关联，我们不再诉诸本能，好像被放逐到充满不确定性的大海上漂荡。人类因此又多了一种新的犯错误的途径，虽然由此也获得了不断改变、适应和学习的新机会。我们犯下无数的错误，又被生活经验改正过来，因此成就了我们万物之主的地位，这是其他物种绝不可能做到的。

在早期人类史的大部分时间里，文化知识可能更多地储存在人的大脑中。借助文字书写或其他抽象物质符号，人类的知识就可以得到归纳、保存和有效的表达。但在此之前，人类能够储存的信息量自然非常有限，信息的可靠性也会因此而打折扣，所以尽可能使保存的信息简而又简是有很大好处的。所以，无论是内心的图谱，还是外在的图示，都只突出主要特点而不特别注重细节。大脑越能抓住特点，信息也就越有效。

可一旦人们开始生产工具，后来又制造艺术作品，有些信息就被存储到了外物上面，一般是关于制造方法和物品的内涵的。但这种信息却总是模棱两可，因为要解释它很大程度上还得靠人，只有人才能说清工具是如何制造的，又有什么用。所以直到现在，我们依然只能猜测这些早期工具究竟是做什么的，这些早期的艺术品对制造者可能意味着什么，虽然有时这种图示，通常是动物图示，貌似一目了然。

只有到了人们真正开始写作甚至学会了印刷术之后，人们的思想观念才不再限于存储在大脑中，而可以更真实地记录下来。这等于释放了大脑内部的存储空间，同时也使信息交流变得更容易。因此，这类进展导致了集体知识的大爆发，尤其是当人口增多、人与人之间的联系更加紧密的时候。近年来，计算机数据存储和交换技术的广泛使用也引发了类似的集体知识大爆炸。这些进化的步骤使人类能够更有效地获取物质和能量、建构自身的复杂性及适宜的金凤花条件。此外，由于信息记录和存储方式的改进，文化遗忘过程已有所减弱，虽然文化遗忘现象从未消失过。

能量与复杂性

随着时间的推移，人类制造了前所未有的复杂性，从非常简单的工具到大型计算机化工厂。从这个意义上说，人类倒也并非特立独行。有许多动物都会制造各式各样的复杂实体，比如鸟筑巢、海狸筑坝、兔子挖洞、蜜蜂造巢、蚂蚁造穴、蜘蛛结网等。这种行为被称为“生态位建设”（niche construction）。[8]从事生态位建设的物种后来就逐渐适应了这种条件，尤其是这样生活了数代之后。人类与其他动物建构复杂性的主要区别是，动物很少使用复杂的工具从事建造，甚至完全不用；而人类则学会了制造和使用工具，这是因为他们直立行走，从而解放了双手，眼睛成像更具立体感，大脑进一步进化，手也愈发地灵巧。

人之独特，不仅在于人学会了使用愈来愈多的工具，还在于人能够制造各种使用外来资源的复杂实体，比如其中最突出的是各种机械，还有船舶。这是一项根本的创新，在整个大历史上还未见先例。人的这种能力可能在150万年至50万年前即已发端，因为那时人类就开始使用火。至迟在5万年前，人类已开始利用空气和水流中储存的能量，最初用于航行，后来又用以驱动机械。大约在1万年前，人类学会了播种植物、驯化动物，因此开始掌控这些重要的物质和能流。很快，人类又学会了使用动物的肌力（muscle power）。大约250年前，人类开始大规模地使用化石燃料驱动各种各样的机械，从而创造了几乎无可限量的人造复杂存在，对此，我们今天都已经司空见惯了。

只要人类和动物使用肌力创造复杂实体，就有能流过其身体。但这种能流并不是用来创造或维持机体本身的复杂性，而是借以创造各式各样的外在复杂实体。但从贯通的视角看，创造外在复杂实体本质上等同于创造并维持适合自身复杂存在的金凤花条件。

在人类史上，直接用于维持自身复杂性的能一般在2~5瓦/千克。如果摄入的能少于这个量值，就会导致机体复杂度的衰弱甚至死亡，因为2瓦/千克是维持人体复杂性所需能量的最低值。但超过5瓦/千克的能流也会产生类似的效果，因为能流过大会损害我们的身体。早期人类史上创造、维持或损毁机体的能流上下波动不大，但今天的波动要大多了。因为缺少可靠的数据资料，要评估人类史上由人创造的各种复杂实体功率密度的演进非常困难，甚至已经不大可能了。哪怕是粗略地评估一下

也需要完整的科研立项，正如洪堡当初开启的那种宏大科研立项一样。

在人类史上，能量及其他资源使用的效率也显现出某种趋势。仅靠能量大并不一定就能创造或维持高复杂度存在。比如，早期的蒸汽机、内燃机和喷气发动机就不是很有效率。但伴随社会发展，这类机械的效率提高了。人类史上虽然也曾目睹能利用效率的沉浮起落，但总体却呈效率不断提升的势头，这恐怕也是一条规律。而且很有可能的是，伴随人们觉察到某些自然资源出现匮乏，如何更有效地利用资源会成为人们要首先考虑的大问题。

许多学者认为，文化事关群体如何群策群力解决日常生活中的问题，[9]而所有日常生活中的问题都关乎能源。美国地质学家M.　金·休伯特（M. King Hubbert）1956年就曾提出，美国的石油生产在1970年将达到峰值，围绕这一颇富争议——但却正确——的预测，当时全世界都在讨论，也为休伯特赢得了很大的名声。休伯特这样说道：[10]

> 因为能源是地球上所有活动——包括无机和有机——最根本的要素，所以人类文化的演进本质上就是人类如何不断提升自身的能力、更好地掌控能源并提高使用效率的历史。

这样的人类史思路可能不会让史学家和社会科学家真正喜欢。当然了，人类行为要比获取物质和能源复杂得多，也更丰富多彩。但无可否认，人类也如同任何其他形式的生命体一样，绝无可能摆脱热力学第二定律的作用。如果我们不想让自身的复杂性以及人类所创造的一切复杂实体陷入熵的怀抱，我们就必须有规律地吸收物质和能量。这是人类史的底线。因此，我还是要郑重声明：在人类史的大部分时期，甚至整个人类史上，能否在适当的金凤花条件下获取足够的物质和能量以求得生存和繁衍，是压倒一切的真正主题。人类史尽可以有其他方式加以规划，但凡不考虑人类是如何与熵做不屈不挠的斗争的人类史规划却注定会失败。[11]

人类所有的行为都无可避免地产生一些废料，也就是熵。人类产出的低水平辐射相对更容易排放到太空，但人类在地球生存的历程中还是在地表累积了大量的物质熵。比如，最初可能还只是制造燧石工具留下的一些简单废弃物。但伴随人类活动的日渐频繁，人类向自然环境中排放的物质熵也在不断增长。

早期人类的诞生

虽然人们对早期人类的概念多有争议，但若说人类史始于迄今600万至400万年前应不失公允。在最初的400万到200万年间，人类要努力适应不断变化的环境才能求得生存，而他们改造自然的能力还非常有限。不过在距今200万年的时间里，人类逐渐学会了更有效地获取物质和能量，而且尝试着把周围的自然环境愈来愈多地按照自己的愿望加以改造。在这一过程中，人类总试图把当前的自然环境改造成自己最初习惯的那种金凤花条件。而正是凭借这一总体策略，人类才得以走遍全球，做着他们至今还在做的那些事情。

最早的人类化石可追溯到约700万至600万年以前，但那时的人类腿还没有完全伸直，只能在林中的地面蹒跚学步。最早直立行走的人大约400万年前出现在东非的大草原上。这里的气候颇温润，而且至今依然是这样，全年的气温在20~30摄氏度之间。这一温度与人的平均体温大致相当，温度适中，但足以让早期人类排出多余的热量。所以我们的先祖就不再需要体毛来调节温度以实现自我保护，体毛因此也就褪掉了。同时，东非大草原的气压也相当温和，平均约900百帕。结果，空气中有足够的氧，让早期人类能够从事各种体力工作，比如长距离奔跑。英国地理学家I. G.西蒙斯（I. G. Simmons）这样描述早期人类的居所：[12]

> 宏观看来，这里具备大草原的所有特征，既有开阔地，又有繁茂的树木植被，干湿气候交替。从局部角度看，人的居所大多位于开阔地与封闭植被的交界处，比如湖岸、河岸或天坑旁边；此外，这里的居所环境可谓五花八门、各具特色，因而有助于采集各种既有资源。

在这样的生活条件下，早期人类的人均功率密度只有约2瓦/千克，因为这对维持身体正常的运转也就够了。[13]

根据现代科学的观点，早期人类只有在东非大草原这种独特的环境中才能最终成形，而不是有古猿生活出没的其他任何地方。在此形成期间，出于我们还不能理解的多种原因，非洲大陆变得愈发干燥寒冷。这

种气候变化对非洲的动植物产生了深远的影响。热带森林在中部非洲的东西两侧同时退却，取而代之的是一望无际的大草原。结果，绿地芳草间夹杂着各种树木，原本在树上栖居的古猿面对环境变化的巨大压力，不得不学会适应草原上的新生活。

早期人类，还有羚羊等草食动物，夹杂在各种大型动物中间生活，结果之一是腿变得更富于刚性。富于弹性的腿当然适于在森林中穿越，但只有刚健坚硬的腿才更适合在草原上谋生，因为这样可以让人跑得更快、更远。在此期间，许多腿脚变硬的草原物种经历了适应辐射，但其中只有人类学会了用两条腿走路，也就是直立行走。在距今400万年至200万年间，出于适应辐射，有好多早期人类的分支都涌现出来，它们有一个共同的称谓，叫"南方古猿"（Australopithecus），之所以这样称谓，是因为它们的化石都是在南部非洲发现的。[14]

这一演进是长时期气候变迁的结果。大约在距今5500万年前的始新世时期（Eocene period），虽然不同经纬度地区也存在巨大差异，但地球的总体气候还是相当温暖的，植被也普遍繁茂。但此后出现了一个不规则的冷期，使得非洲愈发干旱，植被也愈发稀疏起来。造成这一长期气候梯阶的部分原因是板块构造运动。非洲板块持续北移，撞到了欧亚板块。这次碰撞切断了大西洋与印度洋之间的联系，造成了整个地球表面物质和能流的大规模重组。此外还有一些其他地理变化，比如印度次大陆与亚洲其他地区的碰撞导致了喜马拉雅山脉的迅速隆起。上述事态累加起来的结果，是气候长期的寒冷和干燥趋势。[15]

鉴于上述情况，整个地球表面适合生命体存在的金凤花条件日益分化成横跨多个气候带的多样化的体系。温暖潮湿的地区越来越局限于热带，沙漠改变了位置，温带地区出现了，甚至先前终年被冰雪覆盖的地区也开始出现了生命。这种不断变化的地理环境导致物质和能量的不断增加，比如从热带到两极的风流和水流。这种条件也有利于大草原的出现，大草原上生活着许多大型食草动物和以捕食前者为生的食肉动物。这种长期的生态变化在时间和空间上都为人类的最终诞生创造了良好的金凤花条件。

板块构造运动可能在驱动早期人类进化中也起到了辅助的作用。在气候变化导致的热带森林向大草原转化期间，板块构造运动造成非洲分裂为东西两个部分，原因是非洲大陆板块因撞击而破碎成两半。由此产生的断层线沿尼罗河、裂谷（Rift）和赞比西（Zambezi）河谷展开，形成了一道生态屏障，把东非与中部非洲分隔开。这一势态后来终于导致了非洲大陆的解体。虽然很多物种可以跨越这一生态屏障，因此仍从属

于同一个基因库，但也有一些生命体根本无法跨越。

据荷兰生态学研究者阿德里安·科特兰德（Adriaan Kortlandt，1918—2009）说，上述屏障使早期人类（或古猿）无法杂交混种，因为他们还不会游泳，难以跨越山谷间形成的大河。当生态屏障两边的环境发生变化时，生物进化的轨迹也因之改变，所以在中非的森林中就出现了黑猩猩（chimpanzees），而在东非大草原则出现了裂谷古猿（Australopithecines）。[16]

这些早期的人类学会了直立行走，但其脑量却不是很大。此时距离人的大脑最终形成还有200万年的时间。裂谷古猿能找到什么就吃什么，同时避免成为在大草原上捕猎的众多食肉动物的口中食。据我们所知，这些早期人类并未制造出任何形式的人为复杂实体。

非洲热带大草原的地理环境虽然相当温和，但却不稳定。从长远看，这里的气候时常会出现突然的变化，这是非洲大陆整体变化的结果，此外还受到米兰科维奇循环的影响。因此，早期人类有时生活在大草原，有时又退回到森林中。早期人类似乎已经适应了这两种类型的环境，腿被拉长了，适合走路，又具有相当的灵活性，适于攀爬，其原因正在于此。腿被拉长，但如果不是过于僵硬，还是可以在森林中求得生存的，或者森林不是太密集，还可以在树下行走。早期人类即使生活在森林里，也不会像其堂兄弟黑猩猩那样在枝杈间上蹿下跳，它们可能生活在林中的地面上。[17]

不断改进的社会协调性

直立行走使各种形式的社会协调成为可能。1995年，威廉·麦克尼尔在《步调一致》（*Keeping Together in Time*）一书中提出，早期人类在学会有效言语表达之前，曾经历一个有节奏行动能力——类似当今社会人类司空见惯的舞蹈与操练——不断提高的过程，这一点对协调人的行为而言至关重要，为其他灵长类动物（primates）所不能企及。在宽广无垠的大草原上，直立行走的物种要协调彼此的行为要相对容易得多，也非常有利，而在此前，当我们的祖先还生活在茂密的森林中时，这种作为是根本不可能的。因为有节奏地行动会刺激强烈的群体认同感，所以早期人类便可以在更大规模上有效协调社会行动，为此前任何时代所未见，尤其是在战斗或其他群体任务中。不过，经常的情况是，此类有节奏的运动并未留下任何历史证据，所以要真正评估这一假说的恰切性还是很困难的，包括考证这种能力究竟是何时形成的。但正如麦克尼尔所说，就我们所知，似乎只有人类具备这种行为能力，而这一点本身便足以令人称奇。

早期人类并不具备任何天然武器，比如巨大而锋利的牙齿、鹿角、强有力的蹄或毒液，用来保护自己，免受来自危机四伏的热带大草原的侵袭。他们也不是成群地生活在一起。因此，人们不禁要问：早期人类是如何抵御大型食肉动物，而不至沦为后者的口中食的呢？要回答这一问题，阿德里安·科特兰德在早期人类的栖居地做了如下实验：他先做了一个电动马达驱动的小型机器，可以不停地转圈甩动几支上面有荆棘的树枝。机器的下面放了一块肉，吸引了几只狮子。可狮子一走近，机器就开始转动，这使狮子很难受，要想拿到肉而不被荆棘刺伤是不可能的。其中一只狮子尝试这样做了，结果鼻子受了伤，于是就退却了。[18]我们当然不知道早期人类是否用诸如此类的方式保护自己。但科特兰德的实验表明，这样的策略是有效的。且不管早期人类究竟是怎样做的，但实施自我保护、免遭掠食者的侵袭却是我们的祖先谋得有利生存条件必须要做的事情之一。而如果他们一边有节奏地行动，一边实施自我保护，其效果可能会更显著。

距今400万年至200万年间，早期人类的栖居地已经遍布整个东非，其中有些地方甚至生态环境迥异。我们还不清楚这些早期人类在何种程

度上能够借助符号语言彼此交流。这里的早期人类可能都学会了直立行走，但其脑量相对较小。那么我们会问：为什么早期人类在东非大草原上出没了约200万年后，有些早期人类的脑量会增大呢？

工具制造与脑量增长

早期人类脑量的增加与不断使用工具有关。人类虽不是唯一使用工具的动物，但人类使用工具技能的高超却是其他动物远不能比拟的。使用工具现象的出现是有立体感的眼睛、大脑和四肢高度协调的结果，而当时人类的祖先还只是生活在森林中的一个物种。直立行走对使用工具也很有帮助，因为这样的话就可以腾出手臂和手去做其他更多的事情（虽然在林中悠荡变得更困难些）。结果，人类学会了用手完成更多的任务，甚至在行走的时候也能做到。相比之下，巨猿却做不到这一点：它们必须一动不动地坐着才能完成任务。因此，相对于其他大型动物，早期人类逐渐变得更加强大。[19]

虽然这时的早期人类还主要依赖采集谋生，狩猎的重要性却开始与日俱增。显然，人类因为变得更灵巧而在食物金字塔中的地位有所上升。人能够直立行走并使用工具，这一点特别重要，所以其他任何动物中间均未出现类似的进展。就我们所知，其他动物虽有一定的脑量，但没有一种学会直立行走并进化出灵巧的手臂和双手。

制造工具成为可能，是因为有立体感的双眼、大脑、双手和双腿彼此之间的协调性得到改进。这种协调使人能够完成此前从无可能的事情。学会了投掷和捕捉，人就可以跨越一段距离完成任务。眼、脑、四肢协调了，就可以划船、驾驶船只、骑动物或坐动物拉的车，以致后来又学会了掌控汽车、轮船、飞机和火箭等动力机械。凭借这种才能，人类还学会了以越来越精确的方式处理越来越小的物质，最近的例子如纳米技术、巨型粒子加速器等。

随着时间的推移，人类学会了有能力改变、塑造越来越多的物质，如从事农业生产、采矿和建筑。此外，改进了的眼、脑和肢体协调再加上不断增长的远见和集体知识使人类具备了多种形式的自我控制，这样就可以既达到预期，又同时避免不愉快的结果。对不愉快的行为——比如人一定要努力才能获取物质和能量——有所预期常会产生令人愉快的结果，认识到这一点对人本身是有好处的。这种来自行为者的审慎是构建各种外部复杂实体并加以利用的先决条件。

已知人类最古老的器皿是用燧石制成的尖状物，可追溯到大约250

万年前，虽然我们还不能确定这是否是人类制造的最早工具。燧石工具经受住了时间的冲击，因为它非常坚固持久。但如果工具是木制的，就会因易腐而很难延续至今。另外，我们可能还无力辨认早期残留的工具，因为它们都非常原始，很难分辨是人工制品还是天然物品。

古代燧石工具常被解释为人类牙齿的延伸，能够帮助富有创造力的人类收获很难获得的物质和能量，包括把肉切碎及从骨中卸下骨髓。燧石的尖点可能还有助于保护人类的复杂性。早期人类制造工具水平的提高还得益于人手提供的新的可能性：对生拇指（opposable thumb）的出现使人的动作变得更灵活。总之，使用工具的出现预示着人类开始以更有效的方式获取物质和能量，也标志着人类创造新式复杂实体的一种努力。

学会了制造工具，非随机消除过程会刺激更大、更复杂的大脑的生成，要求眼、手、脑能够更好地彼此协调，还需要相应的语言能力和符号思维能力，只要这样做有利于生存和繁衍。[20]两性之间的选择也会偏好具备这种技巧的人，故而进一步刺激了更大、更灵活的大脑的生成，特别是这种人能够收获和提供更多物质和能量的时候。因此，在距今190万年前，也就是在最早的工具问世仅50年之后，一个新的人种就在东非大草原出现了，也就是直立人（Homo erectus）。直立人的大脑更大，也更复杂。

气候变化在人脑形成过程中也可能起了重要作用。大约250万年前，伴随米兰科维奇循环的加剧，气候波动致使寒冷和干燥的趋势进一步增强。这是冰川时期的开始，其部分原因可能是南美板块北向与中美洲在巴拿马地峡的交接，同时造成安第斯山脉的隆起。此外，还有其他一些地质变化也可能起了作用，例如澳大利亚向北移动，以及喜马拉雅山脉和阿尔卑斯山脉的进一步增高。所有这一切都会改变洋流以及风和雨的模式，从而导致严寒的进一步加剧，以致冰川时期的特征更加显著。

根据里克·波茨（Rick Potts）的说法，上述比较突然的气候变化有可能刺激了工具制造和早期人类脑量的增加。用他自己的话说：[21]

> 进化伴随环境的愈发不可预测以及栖居地的变化多端，人类进化步入了断断停停的模式。其实早在人类问世之前，栖居地的恶化和变迁乃大自然发挥作用的重要标志，可谓是一种重要的生态因素吧。直立行走且会制造工具的人类能够活下来，肯定是适应了栖居

地环境断断续续的变化。

> 此间进化反应的核心原则是要具备灵活性，要能够适应，并使行为、生理及整个生活方式富于多样化。面对不稳定的栖息地，人类必须具备改造周边环境的能力，舍此别无他法。只不过，这种改造能力本身就是多重因素互动的产物，计有大自然自身的变化、人类祖先曾经历过的多种生存环境以及环境变化的速度。最后，我们这些幸存者会因此获得极强的改造生活环境的能力，甚至主动模拟创生人类的环境变化的过程。

早期人类应对上述气候变迁的方法就是改进工具制造，希望借此获得更充足的物质和能流。波茨说：[22]

> 我们这些人都对最古老的石头工具感到好奇，也都曾想到过这一点：凡能在体外部分加工其食物的原始人是所有两足动物中自由程度最高的，因为他们再不必受限于某种特定单一的环境之中。使用石头工具意味着工具制造者可以超越任何单一的栖息地或时间片段的状态代码，可以使用新的牙齿咀嚼的机会。……我相信石器工具制造此后一直是有用的策略，恰恰是因为它使原始人在旧有资源不再具备时转到使用不同的资源。在打磨石头的过程中，某些原始人发现了新的施展才艺的形式。本是一块厚重的石头，现在要做成锋利的薄片，这意味着各式各样的物品都可以打开、切割或打碎。食物供应发生了变化，原始人应对的办法是制造出能够加工任何食物的工具。……打磨石片让原始人具备了在各种条件下获取所需资源富于弹性的手段。

总之，生态环境加剧波动反倒刺激了早期人类借助工具不断改善条件以求更好地适应环境。任何成功的事例都会导致更有效的工具问世，人的大脑在非随机消除的过程中变得更加足智多谋。而脑量的增加又使得原始人的应对行为更加精细且形式多样，这样进化中的人类便可以获得更充足的物质和能量，而在拮据的年景也能创造出更复杂的实体，人对周围自然环境的掌控能力与日俱增。

虽然学界对人脑的复杂程度还不能充分解析，但脑量增长及其日趋复杂的生理学原理却可能非常简单。早有学者注意到下述事实：黑猩猩幼崽在脑的大小、形状及灵活适应方面与成年人很相似，但相比之下，

成年黑猩猩的脑反倒较小，形状也有所不同，而且学习和适应能力还明显下降。1918年，荷兰解剖学家路易斯·博尔克（Louis Bolk，1866—1930）基于上述观察提出，可能有一个他称之为“幼态持续”（neoteny）的过程存在，这一过程奖掖成人保持童年的一些特征，比如大头，也就是说脑量较大。在适当的金凤花条件下，只要适应、学习能力——包括向下一代传授知识——和有效交流的收益高于培养子女不得不付出的能量和资源，上述幼态持续的过程就会启动。[23]

据信，人类就经历了这样一个幼态持续的过程，就是说年龄大了却依然保持青春年少时的特征。这一过程使得人类有更长的学习时间，从而刺激了新皮层的大幅增长，而拥有较大的新皮层是现代人的重要特征之一。但人类为此必须付出的代价是幼儿变得愈发脆弱且易受攻击。许多动物的新生儿，比如马和羚羊，在出生后不久很快就会行走并加入团队，但人类的婴儿至少在数月内无法走动。因此，人类必须在育儿方面投入相当大的精力，这是特别沉重但却重要的负担，尤其是子女们不在一个地方长期居住的情况下。

直到最近，女性的骨盆宽度依然明显制约着人类婴儿出生时脑袋的大小，也因此制约着幼态持续所能达到的程度。女性的骨盆宽度当然也经历了一个优选的过程，所以有可能也随进化有所增长。不过在今天，富裕国家至少有20%或更多的新生儿是经过剖腹产出生的，也就是说，对这些儿童而言，上述限制已被取消。假如金凤花条件发生了变化，那人们自然期待幼态持续会再次提速。

脑与肠

在人类脑量增加且日趋复杂化的同时，肠道却在缩小。作为参照，早期人类的臀部相对较大，而现代人的肠道要比黑猩猩短得多（后者的臀部很宽）。同时，人类和大猩猩的整体功率密度相当，这意味着他们单位体重的能流也比较接近，虽然人类的大脑要大一些，耗能也较多。这是怎么回事儿呢？

英国科学家莱斯利·艾洛（Leslie Aiello，1946— ）和彼得·惠勒（Peter Wheeler，1956— ）给出一个有趣的答案，[24]其推理如下：假如说脑量大消耗能量就越多，那么早期人类是如何提供大脑所需的能量呢？人类是摄入更多相同的食物，还是摄入不同的高质量食物呢？若是前者，人类的肠道自然会更长一些。

在此，我们有必要交代：肠道的功率密度事实上比大脑还要高，因为消化食物需要很多能量。根据艾洛和惠勒的研究，大脑的功率密度是11.2瓦/千克，而肠道的功率密度为12.2瓦/千克。[25]那么，如果进化出更大的大脑只是增加了肠道的负担，那前者究竟有哪些进化优势呢？

但事实上，人的脑量增大、肠道缩小是同时发生的。显然，大脑能耗的增加是以内脏能耗的减少得到补偿的。这就意味着唯一的结果：早期人类不能再吃相对低能的大量食物，比如草，因为那样就需要更长且耗能甚巨的肠道。显然，人类已开始摄入更优质也更易于消化吸收的食物，如动物蛋白、种子、坚果和浆果。能够收获这种高质量的食物或许是拥有较大大脑的主要优势。

事实上，我们的类人猿祖先已不能只以草为食，这一点非常重要。假如我们的祖先能够反刍，那他们自然需要更长的肠道，结果肚子肯定会变得更大；那样的话，一旦生态环境发生变化，他们就很难——甚至不可能——站起身来，因为肚子大了就需要四条腿来支撑。而这正是马和羚羊等大型食草动物的命运，虽然这些动物在同一时期也成功实现了从森林到大草原的生态转型。换言之，人类之所以能够成功进化，至少部分原因在最终转化成人之前所吃的食物。

根据艾洛和惠勒的研究，早期人类的脑量增加和肠道缩小至少经历了两个冲刺阶段。第一个冲刺大约发生在200万年前，那时早期人类有

了新工具和更有效的采集、狩猎技术，所以能吃到高质量的食物。在此期间，人类的牙齿、颌骨及周围的肌肉也变小了。这表明直立人越来越依赖于高质量易于咀嚼和消化的食品。如前所述，人类的工具实际上起到了一个外部咀嚼和消化的作用。这一创新使人类变得更强大，也越来越依赖于新工具。肠道缩小的第二个冲刺与人类控制和使用火的能力提高相吻合，烹饪取代了相当一部分原属于肠道的消化功能。烹饪自然也可以被看作是咀嚼和消化的外部装置。人类对火的控制与使用，如同此前人类发明的新工具一样，使人类非常变得相当依赖于这种新获得的技能。

正如我们在第五章中看到的，大脑和内脏是由神经细胞连接的。人类进化出较小的肠道和较大的大脑，肯定会影响到头颅中的大脑和肠道中的第二脑以及它们之间的连接。很有可能的是，大脑新皮层的显著增长——系现代人类的一个重要特征——与腹中肠道第二脑的缩小和变化紧密相关。[26]

火的控制与使用

早在一百多年前，查尔斯·达尔文就已认识到火的控制和使用对人类进化的重要作用，虽然那时早期人类的化石还根本不为人所知。[27]如今，科学家们认为，直立人是最早使用火的人类种群，但还不清楚究竟是从何时开始的。人类使用火的最早证据可追溯到大约79万年前，地点在现在的以色列。但人类对火的控制和使用可能要比这早得多，只是最初用火的痕迹早已在地球上消失了。有间接证据表明，非洲的早期人类在距今150万年至100万年前就开始使用火了。[28]

人类史与火的控制与使用关系密不可分。美国科学家、世界顶级火史专家斯蒂芬·派因（Stephen Pyne，1949— ）曾这样表述：[29]

> 人类自冰川时期就已学会了使用火。人类的祖先在更新世时期变化多端的气候中迅速走向成熟。在两百多万年的时间里，整个地球在冰期与间冰期、多雨期与间雨期、冷季与暖季、潮湿与干燥之间摇摆不定。有些地方天寒地冻、阴雨蒙蒙，而别的地方却干旱少雨、风沙漫天。森林和草原来去匆匆，俨然似潮涌潮去。这种快节奏的循环变换都有助于火势。更新世的沉浮起落自然青睐使用火的物种。

此外，非洲大陆长期的干旱趋势同样有利于火的控制与使用。能源科学家弗兰克·尼尔更直接称这一时段的人类史为“火文化能量体系”（pyrocultural energy regime）。[30]

火的控制与使用使直立人得以大规模地改造自己的生存环境。[31]放火烧荒刺激了某些植物和动物物种的生长，但同时减少了其他物种的生存机会。早期人类正是以这种方式极大地改变了整体的景观。他们通过烹饪、烘烤和熏蒸获得了更多的食物品类，可谓新的物质和能量来源。火虽不能帮人直接摄入植物的茎，但火烧却有助于人消化植物的种子，比如小麦、大米、小米和各种各样的豆子。就这样，早期人类把大量可利用的低质食物转化为高质的食物资源。这一点在人类开始实践农业之后尤为重要。早期人类成了旧石器时代技术娴熟的厨师，并因此攀登到

食物金字塔的顶端，同时还从较低层次获得了大量的物质和能量。

除了烹饪方面的进步，火的控制与使用还带来其他一些好处。早期人类围坐在篝火旁，夜间就可以取暖，同时捕食的野兽也不敢靠近。进而，火发出的光还改变了人类的睡眠节奏。火的驯化还促进了大型狩猎和森林清理，并为捕获来的动物提供牧场。所有这一切标志着一个新的长期发展过程的提速，人类开始按照自身的愿望和设计改造整个地球的环境。

从原先总是被猎捕到现在成了捕猎者，早期人类与其他大型捕猎动物之间呈现出越来越大的功率差，优势自然倾向于善用火的物种。在这一时期，只有直立人活了下来，而其他没有学会使用火的早期人属种群逐渐从地球上消失了。荷兰社会学家约翰·古德斯布洛姆认为，正是因为能使用火，直立人才最终胜出，要么是因为他们比资质不那么健全的人种更适应生态变迁的能力，要么是前者直接消灭了后者。[32]

人类学会了使用火，就等于开发出一种外在能源，凭此便可以创造和毁灭各种形式的复杂实体，而这在整个历史上可谓一大创举。从此，我们就不可能再使用纯正的功率密度概念了，因为火释放出的能量并没有流经人体。而且要评估能究竟流过多大数量的物质，现在变得非常困难，甚至是不可能了。这是因为我们根本不清楚早期人类过多久就会放火烧荒，也不知道烧荒的草原或林地有多大面积，所以根本不可能准确评估某种生物燃料由于早期人类的介入究竟释放了多大能量。不过，我们有可能做到的是评估人究竟使用了多少能量。所以，本书后文将使用“人均能使用量”（energy use per capita）代替此前的功率密度概念，后者将不再使用。

根据荷兰环境学家卢卡斯·赖金德斯的评估，澳大利亚原住民因使用火而获得的能量大致是1997年美国人均能消费量的1~2倍。[33]所以很有可能的是，这些原住民的远古先祖能释放大致相当的能量。如果此说无误，那我们的远古先人已经有能力掌控大量的能源。只不过这种早期用火的效率如何，我们却很难弄清了。比如，放火烧荒要消费很多的能量，但创造出的复杂实体却相对简单，而同时毁灭了大量的复杂存在。当然，这样的评判取决于评判者从哪个角度看问题。也许早期人类觉得这样创造自己想要的生存条件最廉价，也最有效。

火的控制与使用是个渐进的学习过程。这是因为，早期使用火很容易失控，不管想不想要，一旦燃着，火都会释放大量的能，也可能把早期人类为自己创造的复杂实体都烧毁了。这里面有一个自然选择和文化选择的问题，那些用火常失控的人决然被非随机过程剪除了。因此，凡

活下来的早期人类都学会了合理地使用火，以此获得更多的能源并创造出更多复杂实体。另外，正如斯蒂芬·派因指出，火使用得越来越多，自然就减少了易燃物的存量，所以后来的火规模变小了。[34]

2007年，笔者与大卫·克里斯蒂安有一次颇为精彩的学术交流，后者问：为什么迄今最复杂的实体（人类社会）出现在陆地而不是海洋中呢？首先，在我个人看来，相比鱼类的鳍，人借以完成各种技能所必需的手臂和双手更容易从陆上动物的爪子或腿进化而来。其次，在海洋中制造工具要比在陆地上更难找到合适的材料。最后一点，但并非最不重要，是火的控制与使用，这是后来一切重大能源创新必不可少的（其中最重要的是农业和工业），而这在水下根本不可能。

因此，虽然在七大洋生活着不少智商很高的动物，但海洋无法提供高复杂度物种生存——至少等同或超过人类社会水平——的金凤花条件。事实上，海洋中最聪明的生物，如海豚和鲸鱼，都是陆生动物的后代。由于它们早期在陆上的生活经历中获得了智慧，所以回到水中才能成功地参与竞争。但它们适应了海洋环境，自然也就受海洋环境的限制。因此，它们不可能创造出类似于陆上生存的人类所能创造出的复杂实体。

迁徙

就我们所知，直立人是最早离开非洲大陆并迁徙到欧亚大陆大部分地区的人种。[35]这次迁徙大约发生在180万年前。显然在此时，这些早期人类的探险者已能够适应从零下40摄氏度到零上50摄氏度多种不同的气候带，并获得足够的物质和能量，生存繁衍前后达150万年左右。就生态条件而言，此次迁徙到达的地点更是五花八门、品类多样，直立人能够做到这一点得益于其文化适应能力达到了相当的高度。这是一类动物物种借助集体知识首次征服相当一部分的地球表面。用约翰·德·沃斯的话说，这是文化适应辐射的第一个例证。生物进化导致的适应辐射与文化创新造成的文化适应辐射有一个重大差别，就在于后者的文化创新可以被他人轻松学会而不需经历基因交换过程，对复杂物种来说，基因交换的速度要慢得多。[36]

由于缺少确切的证据（这类证据非常不容易找到），所以我们不清楚这些早期世界的旅行者是否已经学会了控制并使用火。不过，他们很有可能会使用火，因为有了火，他们就可以获得更多的物质和能量，还可以把当下的环境改造得对自己更有利。我们也不知道这些迁徙者是否会缝制衣物。不过有间接证据表明，人类在118万年前已经开始穿衣服了。这里说的间接证据基于如下理念：人类穿上衣服，一定不只为自身提供了适宜的金凤花条件，除此之外，必然还有人身上的一些寄生虫，尤其是虱子，他因此有了生存条件。根据最新的基因研究，最古老的寄居在人身上虱子就出现在距今118万年前。[37]这恰好与直立人抵达欧亚大陆寒冷地区的时间吻合，而此时的早期人类正好有了御寒衣的需求。

早期人类在自己的身上覆盖了一层人造的“皮”，就使得去除身上的污垢变得困难起来。因此，它们要不时地清洗身体和衣服。我们还不清楚人类史上洁净的标准究竟是什么、人们多久就会清洗一下自己的身体以及清洗的效果如何。但慢慢地，也非常肯定地，某种洁净的标准问世了，虽然通常不同群体内部及群体间的标准颇有不同，且还会因此划分出不同的社会阶层，比如印度的种姓制度就是基于洁净观念涌现出来的。[38]事实上，这种社会阶层的划分可被解读为一种源于此前人造金凤花条件经宗教神启后的文化金凤花条件。

美国科学家詹姆斯·特拉菲尔（James Trefil，1938—）和英国天文

学家约翰·巴罗（John Barrow，1952— ）曾指出，现代人在许多地方都尝试复原东非大草原的原初金凤花条件，如图6.1所示。有一次，特拉菲尔乘坐的飞机正在新墨西哥阿尔布开克附近的机场降落，他突然发现沙漠中间有一大片绿草地。显然，这里的人正不惜代价地在遥远的他乡重建人类先祖习以为常的生态系统。约翰·巴罗认为，这种景观通常只有少量稀疏的树木或至多一丛一簇的树木，是人类早期大草原环境的一种反映。要理解这一点，我们只需回头看一眼自家的后花园，如果真有的话。当然很有可能的是，我们永远都不会知道直立人是否确曾有过类似的雅兴。但这种景观很有可能是大规模放火烧荒——尤其是焚毁林地——之后形成的格局。[39]

迁徙出非洲还意味着沿疾病高发的梯阶下行。[40]热带非洲超强的太阳辐射驱动着极为多样化的生态系统，所以有多种传染病的流行，其中一些疾病仰赖至少两种类型的寄主：一类是人和其他大型动物，另一类是诸如昆虫、虱子或蜗牛之类的生物体，后者把疾病传到大型动物上面，而自己却不受影响。这类传播疾病的微生物对人类是致命的，非常危险。也可能正因此，早期人类在非洲的人口总数迟至迁徙之前也一直受到遏制，结果让其他的动植物有了更好的生存环境。直立人迁徙到气候较冷的地区，虽然生态多样性程度有所降低，但至少许多传染病被甩在了后面，因为携带疾病的微生物无法随早期人类迁徙。因此，早期人类摆脱了热带疾病，所以变得更健康。

英国考古学家布莱恩·费根（Brian Fagan，1936— ）和安德鲁·谢拉特（Andrew Sherratt，1946—2006）认为，可能存在某种大型的生态机制强迫早期人类从北非迁徙至欧亚大陆。他们把这种变化了的金凤花条件称为“撒哈拉泵”（Sahara pump）。[41]撒哈拉地区一度曾降雨频繁且量大，故而催生了茂密的植物和大量动物，吸引早期人类来此寻找物质和能量；而一旦干旱降临，人类就被迫离开了。按谢拉特的说法，“这里就像一部巨型的人口驱离机，迫使原始人横跨累范特（Levant，又译黎凡特）的大陆桥，踏上了在欧亚大陆的求生之旅”。[42]



图6.1 1995年至1996年冬在阿姆斯特丹西部花园（Westerpark）人为创设的非洲大草原景观（由本书作者拍摄）

直立人自180万年前向欧亚大陆多地扩散，若按现在的标准看，其文化变革（cultural change）的速度还是相当缓慢的。显然，此时还没有较强的正反馈机制驱动文化快速变革。我们还不清楚是哪些因素在制约文化变革。也许是因为当时人类的大脑和交流能力均较弱，因为他们的群落规模毕竟不大，彼此间基本隔绝。大约从距今50万年起，文化变革的速度似乎有所提升，由是激发了更多的正反馈。这是由于人类的脑量增加了，且交流手段（形成中的语言）也有改进，或许还因为人口密度有所增长。用复杂性的话语描述，就是组块增多了，组块间的连接也更密实多样。

直立人似乎属于内陆物种。因为早期人类显然没有必要游过很宽的水域或去航海，所以他们抵达欧亚大陆也只是双脚能够走到的地方，若是岛屿也是冰川时期与大陆相连的，因为那时的海平面降低，露出了大陆桥。不过最近有证据显示，居住在现今印度尼西亚的直立人还是具备一定的航海能力的，但此时还没有人到过澳大利亚或美洲。

现代人类的崛起

大约20万年前，被称作智人的现代人类出现了，据推测也是在非洲。[43]其原因至今还不清楚。由于基因发生了变化——其原因也还需进一步探讨，这些现代人类拥有了高超的语言能力和交流技巧，同时还具备较高的技术水平和艺术天赋。依据约翰·德·沃斯的说法，此时最重要的创新是对生拇指抓握的精度大大提高，这一改进赋予了人类史无前例的技术上的精确性。[44]且不管上述多个方面究竟哪一部分更重要，所有这些进展累加起来使现代人变得异常强大。随着时间的推移，我们人类获得了愈来愈多的物质和能流，且有能力建构数不胜数的金凤花条件。由于我们人类与近亲黑猩猩在基因组上存在惊人的相似度，所以有科学家认为现代人的出现只不过是少数基因改变的结果，但这少数基因变化却造成了重大的变革效应。

距今13万年前，智人中间的第一批开始从非洲向外迁徙。在连接非洲和欧亚大陆的大陆桥地带，确有现代人的遗迹在斯虎尔（Skhul）和卡夫泽（Qafzeh）——今属以色列境内——被发现，且完全可以追溯到那个时代。那时候，人类已开始用相当复杂的语言进行口头表达，所以极大程度地促进了更高效的交流。意大利遗传学家路易吉·路卡·卡瓦利——斯福扎（Luigi Luca Cavalli-Sforza）认为，这是激发智人最初从非洲向外迁徙的重要原因之一。[45]随着时间的推移，虽有一些智人可能已经远达南印度、新几内亚岛和澳大利亚，但这一波朝向欧亚大陆的迁徙却相对颇为短暂。

第二波向非洲以外的迁徙发生在8万至6万年前。[46]这一时段恰值最后一季冰川造成整个地表干旱趋冷之际。由遗传研究提出的假设认为，在此期间，早期智人经历了一次人口发展的“进化瓶颈”（evolutionary bottleneck），其总数降至1万人左右。这次人口萎缩（population implosion）可能是苏门答腊多巴（Toba）火山一次极强烈的喷发造成的。[47]若此说不谬，这次火山喷发就构成了生态变迁深刻影响人类史的又一例证。我们不禁要问，是否多巴火山喷发与地球整体变冷共同湮灭了那些无力适应恶劣环境的早期人类呢？面对不利的条件，他们迁徙不成，又不能承受，皆因文化技能有限。不过瓶颈假说很难解释为何会出现上述的两波迁徙。如果假说成立的话，这两波迁徙肯定会把那时的现

代人类分隔开来且相距甚远，其基因也应该存在差异。由于上述两种模型均基于当代人的遗传研究，均假定当代人至少会携带有早期移民的部分基因，而两种模式又明显冲突，可见，要真正了解我们的早期先祖是如何走遍全球各地的，上述界说都还有改进的余地。

且不管迁徙究竟是如何发生的，现代人类在世界范围内的迁徙本身确属前所未有的成就。对此，我们只需回顾如下事实便会有更深刻的领悟：当时的人类与动物其实相去不远，却能够如此迅速地迁徙到世界各地并学会了在各式各样的条件下生活。由此，他们开始从全世界凡可以居住的地方获取物质和能量，包括高山，虽然那里的气压不超过600百帕。气压相对较低是由于氧压力不足，常使日常生活都变得更困难，水的沸点变低，烹调食物需要平时两倍的时间。

现代人类不同于直立人，还在于前者学会了航海。早在5万年前，现代人就已经抵达了澳大利亚，而勇敢的亚洲航海家还第一次到美洲殖民。据说，后者抵达美洲可能有两种方式，要么穿越白令海峡，要么沿着亚洲到美洲太平洋西海岸一系列的岛链一步步跨越过去。后来，这些新大陆的第一批探险家又沿着海岸一直走到现在的智利南部。南部智利曾发现美洲最古老的人类住区，其原因正在于此。显而易见，沿美洲太平洋海岸航行要比从阿拉斯加一直走到锥形的南美洲大陆要容易得多。而且显然，那时候的人类已经学会利用水和风的能量航行。[48]因为海平面在最后一季冰川结束后足足上升了约120米，所以早期人类沿美洲太平洋海岸居住区的大部分证据都应是在水下。此外，还有一些来自欧洲和非洲的现代人类可能也曾穿越大西洋到达美洲。

在向更广阔的世界扩张的过程中，有些勇敢的现代人类肯定遭遇过很久以前就曾在某个地方定居的早期人类，后者之中最著名的要算是尼安德特人（Neanderthals）。尼安德特人生活在西欧延伸至现代伊朗一带，几乎与后来来此定居的所谓白种高加索人的地区完全相同。尼安德特人从更早的海德堡人（Homo heidelbergensis）进化而来，比直立人要更晚近和发达一些。尼安德特人业已非常复杂，因此被认为是早期智人的一种。现代智人在欧亚大陆遭遇尼安德特人是在距今4.5万年至4万年间，当时尚处于最后一季冰川时期。究竟智人的生物特征及文化技能比尼安德特人先进多少，现在还在讨论之中。

大约在3.9万年前，尼安德特人灭绝了，只有智人幸存下来。目前主流的学术观点认为，智人因为技能更高超所以取代了尼安德特人，这一过程现被称为“种族灭绝”（genocide），但也有可能尼安德特人本身未能在当时最后一季冰川最寒冷的时期幸存下来。不过现有遗传证据表

明，现代人曾与尼安德特人有过交配，所以现代白种人仍有4%的基因来自尼安德特人。尼安德特人与后来的白种现代人在生存时段上的重合也表明上述事件确实存在发生的可能性。另一类值得怀疑的事件，是智人与早期人类是否在欧亚大陆的其他什么地方也有过类似的遭遇，比如最近有化石证据表明，在西伯利亚阿尔泰山脉的丹尼索瓦洞（Denisova Cave）也曾有现代人类居住，且与尼安德特人和智人非常接近。从DNA分析看，这三个人种都曾有过交配混血的过程。有趣的是，澳大利亚原住民和美拉尼西亚人也与丹尼索瓦洞人有着共同的DNA，甚至高达6%，前者似乎还与距今40万年前的古人类基因存在关联，这种古人类的遗迹曾在西班牙附近的阿塔普尔卡（Atapuerca）被发现。显然，现代智人与早期人类之间确实存在某种有趣的混合现象，虽然大部分问题仍有待进一步研究。不过，无论这一时期曾发生了什么，只有3万年前的现代人在大多数地方幸存了下来，而几乎所有的早期人类都从地球的大舞台上消失了。

现代人类向诸如澳大利亚和美洲等人迹未至的地区的迁徙表现出一些普遍特征。最初迁徙到某个地方相对容易得多，因为只要有足够的物质和能量及适当的金凤花条件就可以了。但只要一地已有定居者，后来再有人迁徙至此地就困难得多，因为既有定居者可能并不总是欢迎新来的人。所以后来者除非有某种高超的技艺能够帮助其克服这种人为的障碍，否则都会经历更多困苦。也正因此，迁徙通常呈现出一波接一波的态势，而不是连续不断的人流。但上述障碍通常不会阻止人员、商品和思想在较短距离的交流，比如贸易和异族通婚。但时间长了，上述交流在地域上会呈扩大之势。

我们还不清楚现代人类的符号语言能力是何时进化出的。大多数人类学家认为，符号语言能力大约是在4万年前随现代人类的出现而自然形成的，但我们不能因此排除其形成可能更早。事实上，尼安德特人可能已经会说话了，其言语按现在的标准完全可以算作是语言。暂不论哪种情况是真，现代人类具备了语言和符号思维能力，便为人类筹划未来、协调社会和集体行动开辟了史无前例的巨大潜能，甚至至今仍不可限量。这种能力还使得人类能够更长久、更深刻地记住过去。换言之，人类有了更精致的大脑和改进了的象征性语言，就能同时做到前瞻以定方向，后顾以得智慧。随着时间的推移，符号语言演变成文字形式，首先被刻到石头或粘土片上，后来又写到纸或兽皮制成的纸上，再后来则是印刷、电子数据存储和通讯的形式。每个新阶段的媒体都能更有效地传达给更多的人，同时也更便宜。使用符号语言要比大家一起有节奏地运动更有效、更便捷。不过直到今天，语言也没有完全取代舞蹈和军事

训练。显然，有时候，大家一起有节奏地运动还具有一定的优势。

在距今3万至1万年间，大多数地方的人口密度都很低。根据英国地理学家I. G.西蒙斯（I. G. Simmons，1937— ）的研究，这一时期土地肥沃的地区平均每26平方公里有一个人，而在澳大利亚内陆的干旱地区，平均每250平方公里有一个人。[49]因为早期的现代人类必须逐物质和能流而居，所以大多数过的是游牧生活，只有在极少数资源特别丰富的地区——比如靠近洋流的海岸海洋资源多得不得了——才有人长期定居。但这种资源丰富的地区伴随最后一季冰川结束后海水的大幅上涨早已深埋在海水下面了。

这些游牧的采集狩猎者的社会组织似乎非常简单。其日常生活往往以家庭群体的形式展开，差不多25到50人左右。这种群体组成更大型的群体，有时可能多达500人。在这种社会体系中，不时地会有多种形式的交换行为发生。根据具体的情形，这种群体可能有意识地努力保持较低的人口密度。西蒙斯说："有许多学者认为，当时大约以175人为一繁殖种群单位，对人口数量有极严格的控制，往往要杀掉15%~20%的新生婴儿。"[50]换言之，此时的人群会严格控制群体复杂性的再生，目的是保证不超越当时金凤花条件设定的界限。

现代人类的兴起可能导致了周围生态复杂性某种程度的降低。首先，烧荒毁林改变了生态的构成，致使大量不那么幸运的物种数量上有所减少，虽然同时也有一些物种因此获益。因为随着时间的推移，人类常在某些相对固定的时间点才放火烧荒，而不同于随时可能发生的自燃，所以造成了一种常规的低强度火文化体系。这对那些需要足量火烧才能繁殖的物种产生了不利影响，同时对那些适应了这种火文化体系的物种却无疑是一种奖励。[51]

现代人类的出现可能造成了一些大型动物的灭绝，尤其是那些此前从未有人居住过的地区，比如澳大利亚和美洲。[52]但我们不清楚气候变化或疾病是否也是大型动物灭绝的根本原因。不管实情如何，在人类进入这些新大陆仅仅几千年之后，大多数生活在那里的大型动物消失了，这一点依然令人震惊。如果此说不错的话，这也是由人类行为导致的生态复杂性下降的一个例证。

有时，生态环境的突然变化，包括干旱、风暴、地震、火山爆发和天体撞击，都会造成人类复杂性的下降，有些只发生在局部地区，而有些则可能波及整个大陆。[53]离我们最近的一次大灾难发生在北美。2007年，美国一研究团队提出，12,900年以前，有颗彗星在北美上空爆炸并引发数个巨大的火球，从而终结了所谓克洛维斯文化（Clovis

culture），而且在此后的12,800年至11,500年间出现降温，这一事件被称为“新仙女木事件”（Younger Dryas），由此产生的碎片甚至还落到了欧洲。据美国海洋学家詹姆斯·肯耐特（James Kennett）说，事件引发了遍及整个北美洲的熊熊大火，有很多人和哺乳动物被烧死。“整个大陆都烧着了”，他说。不过，依据其他研究人员的说法，造成这一时期降温的是一巨大的冰川湖注入北大西洋从而影响到洋流的缘故，而降温产生了大量主要由濒死植物组成的可燃物质，从而引发野火。因此，他们觉得没有必要安插一段彗星爆炸的故事。[54]上述两种假说都有可能是正确的，甚至二者还有些关联，因为彗星爆炸可能导致了北极冰川湖的大量外溢。

早期宗教

对于最初的人类如何解读周围的世界及自身在其中的地位问题，我们迄今还一无所知。至于在洞穴中发现的艺术品及其他形式的艺术表现，比如著名的远古“维纳斯”雕像，我们至多能够从中了解到古人宗教表达的少许线索，这类线索的确非常难以解读。美国考古学家罗伯特·温克（Robert Wenke）对此类解读颇多怀疑，他曾这样说过：[55]

> 旧石器时代的艺术经常就成为“罗夏测试”（Rorschach test），也就是说现代观察家试图由此读懂原始人类的心灵和精神，但事实上他们由此了解到的更多的不是原始人，而是自己的心中所想。

相比之下，人类学有关离我们较近的采集狩猎社会的研究为我们提供了一些更为合理的解读模式，让我们可以由此想象我们的祖先是如何觉察和思考此类事情。正是基于这种人类学研究报告，我们认为远古的采集狩猎者觉得周围世界充满了精灵，而他们普遍愿意与之友好相处。这样的社会里可能有一些兼职的宗教专家，大概就是现代“巫师”或“萨满”（shamans）先驱。这类人往往精通群体心理和个性心理之道，常用宗教信仰和习俗来解释人们在日常生活中遭遇到的种种不确定性，因为此类不确定性根本无法用寻常手段加以解决。

在采集狩猎社会，这种不确定性包括生老病死、衣食不足以及作为捕食者的野兽和他者带来的危险。笔者曾精研秘鲁8,000年来的宗教与政治历程，故此用社会学概念“宗教需求”（religious needs）来描述这种面对无法用寻常手段解决的问题而产生的不确定感，由此便产生了一种通过宗教神启的方法加以解决的愿望。[56]准确地说，宗教需求并不限于采集狩猎社会，还是许多甚至迄今所有人类社会的一大共同特征。有些自古就有的不确定性——尤其是人类自身不可避免的复杂性最终解体的现象——至今犹在，但其他许多不确定性已经发生了变化。因此，人类史上的大多数宗教需求也彼此迥异。

因为采集狩猎社会规模都很小，所以大多数社会成员都信奉共同的宗教观，虽然自古就不乏怀疑者。然而，在这种据称团结紧密的群体

中，大多数人的信仰自然会产生巨大的社会压力，要求所有成员去适应，而且几乎甚至完全不存在与此相异的观点。我在有关秘鲁的专著中，将这种迫使他人接受主流宗教信仰和习俗的做法称为“宗教约束”（religious constraints）。在我个人看来，宗教需求与宗教约束的格局同下述因素密切相关，即物质和能量的获取、当前的金凤花条件、万物求解的需求、如何保障人类自身的复杂性，虽然这样做有时会造成其他形式复杂实体的毁灭，包括其他人的生命或其拥有的财产。事实上，我们若追溯宗教世界观的源头，就会发现宗教总关乎万事万物的由来、如何保障人自身的福祉及对人死后的安排。[57]总之，经过400万年早期人类的进化，大约在1万年前后，人类在遗传基因的各个方面都已做好准备，为此后至今人类的全部作为铺平了道路。而在此之前，我们的祖先从未创造出大量且持久的复杂实体，也从未制造出大量且长久无以消除的废弃物。但从此以后，一切都变了，仅仅600代，人类凭借集体知识搅动了天翻地覆的巨变，集体知识也由此成为人类事物中的主导因素。

参考文献

Aiello, Leslie C. & Wheeler, Peter. 1995. ‘The expensive-tissue hypothesis: The brain and the digestive system in human and primate evolution.’ Current Anthropology 36, 2 (199–221).

Allman, John Morgan. 1999. Evolving Brains. New York, W. H. Freeman & Co., Scientific American Library Series, No. 68.

Alperson-Afil, Nira. 2008. ‘Continual fire-making by Hominins at Gesher Benot Ya’aqov, Israel.’ Quaternary Science Reviews 27, 17–18, September (1733–9).

Andel, Tjeerd H. van. 1994. New Views on an Old Planet: A History of Global Change. Cambridge, Cambridge University Press (1985).

Baron d’Holbach, Paul Henri Thiry. 1770. Système de la nature. Ou des loix du monde physique & du monde moral [published under the pseudonym of Jean Baptiste de Mirabaud]. London [= Amsterdam], no publisher or printer mentioned.

Baron d’Holbach, Paul Henri Thiry. 2001. The System of Nature or Laws of the Moral and Physical World. Kitchener, Ontario, Canada, Batoche Books (1868).

Barrow, John D. 1995. The Artful Universe. Oxford, Clarendon Press.

Bellah, Robert N. 2011. Religion in Human Evolution: From the Paleolithic to the Axial Age. Cambridge, Mass. & London, The Belknap Press of Harvard University Press.

Bolk, Louis. 1918. Hersenen en cultuur (Brains and culture). Amsterdam, Scheltema & Holkema.

Bolk, Louis. 1926. Das Problem der Menschwerdung (The problem of becoming human). Jena, Gustav Fisher.

Burroughs, William J. 2006. Climate Change in Prehistory: The End of the Reign of Chaos. Cambridge, Cambridge University Press (2005).

Cavalli-Sforza, Luigi Luca. 2000. Genes, Peoples, and Languages. New York, North Point Press.

Chaisson, Eric J. 2001. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Christian, David. 2004. Maps of Time: An Introduction to Big History. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

Cook, Earl. 1971. 'The flow of energy in an industrial society.' Scientific American 225, 3,.September (134–47).

Cook, Earl. 1976. Man, Energy, Society. San Francisco, W. H. Freeman & Co.

Coppens, Yves. 1994. 'East Side Story: The origin of humankind.' Scientific American 270, 11, May (62–9).

Crosby, Alfred W. 2006. Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy. New York, W. W. Norton & Co.

Darwin, Charles. 1881. The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms. London, John Murray.

Darwin, Charles. 2004. The Descent of Man: Selection in Relation to Sex (James Moore and Adrian Desmond, Editors and Introduction). Harmondsworth, Penguin Books (1871).

De Camp, L. Sprague. 1993. The Ancient Engineers: Technology and Invention from the Earliest Times to the Renaissance. New York, Barnes &

Noble Publishing (1960).

Dillehay, Tom. 1997. Monte Verde: A Late Pleistocene Settlement in Chile, vol. 2, The Archaeological Context and Interpretation. Washington, D.C., Smithsonian Institution Press.

Elias, Norbert. 1978. What is Sociology? London, Hutchinson. Fagan, Brian. 2004. The Long Summer: How Climate Changed Civilization. New York, Basic Books.

Firestone, R. B., West, A., Kennett, J. P. et al. 2007. 'Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling.' Proceedings of the National Academy of Sciences 104, 41 (16016–21).

Fladmark, Knut R. 1979. 'Routes: Alternative migration corridors for early Man in North America.'American Antiquity 44, 1 (55–69). Gamble, Clive. 1995. Timewalkers: The Prehistory of Global Colonization. Harmondsworth, Penguin Books (1993).

Gershon, Michael D. 1998. The Second Brain. New York, etc., Harper.

Goudsblom, Johan. 1990. 'The impact of the domestication of fire upon the balance of power between human groups and other animals.' Focaal 13 (55–65).

Goudsblom, Johan. 1992. Fire and Civilization. London, Allen Lane.

Gould, Stephen J. & Eldredge, N. 1977. 'Punctuated equilibria: The tempo and mode of evolution reconsidered.' Paleobiology 7 (115–51).

Gould, Stephen J. & Eldredge, N. 1993. 'Punctuated equilibrium comes of age.' Nature 366 (223–7).

Gruhn, Ruth. 1988. 'Linguistic evidence in support of the coastal route of earliest entry into the New World.' Man (New Series) 23 (77–100).

Hammen, T. van der & Geel, B. van. 2008. 'Charcoal in soils of the Aller.d-Younger Dryas transition were the result of natural fires and not necessarily the effect of an extra-terrestrial impact.' Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw 87, 4 (359–61).

Harris, Marvin. 1975. Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology. New York, Harper & Row.

Harris, Marvin. 1980. Cultural Materialism: The Struggle for a Science of Culture. New.York, Vintage Books.

Harris, Marvin. 1997. Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology, 7th edn. New York, Longman.

Humboldt, Alexander von. 1995. Personal Narrative of a Journey to the Equinoctial Regions of the New Continent (abridged and translated with an Introduction by Jason Wilson and a Historical Introduction by Malcolm Nicolson). London, Penguin Books (1814–25).

Jones, Dan. 2007. 'Going global: How humans conquered the world.' New Scientist issue 2627, 27 October (36–41).

Kennett, D. J., Kennett, J. P., West, A., et al. 2009. 'Nanodiamonds in the Younger Dryas Boundary sediment layer.' Science 323, no. 5910, 2 January (94).

Kortlandt, Adriaan. 1972. New Perspectives on Ape and Human Evolution. Amsterdam, Stichting voor Psychobiologie.

Kortlandt, Adriaan. 1980. 'How might early hominids have defended themselves against large predators and food competitors?' Journal of Human Evolution 9, 2 (79–112).

Kortlandt, Adriaan vs. Coppens, Yves. 1994. 'Rift over origins.' Scientific American 271, 4 October (5).

Magistretti, Pierre J., Pellerin, Luc & Martin, Jean-Luc. 2000. Brain Energy Metabolism: An Integrated Cellular Perspective. American College of Neuropsychopharma-cology. www.acnp.org/G4/GN401000064/.

McBrearty, Sally & Brooks, Alison S. 2000. 'The revolution that wasn't: A new interpretation of the origin of modern human behavior.' Journal of Human Evolution 39 (453–563).

McNeill, J. R. & McNeill, W. H. 2003. The Human Web: A Bird's-Eye View of World History. New York, W. W. Norton & Co.

McNeill, William H. 1963. The Rise of the West: A History of the Human Community. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1976. Plagues and Peoples. Garden City, N.Y., Anchor Press/ Doubleday.

McNeill, William H. 1986. Mythistory and Other Essays. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1992. The Global Condition: Conquerors, Catastrophes and Community. Princeton, Princeton University Press.

McNeill, William H. 1995. Keeping Together in Time: Dance and Drill in Human History. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Mellars, Paul. 2006. 'Why did modern human populations disperse from Africa ca. 60,000 years ago? A new model.' Proceedings of the National Academy of Sciences 103, 25, 20 June (9381–6).

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Odling-Smee, F. John, Laland, Kevin N. & Feldman, Marcus W. 2003. Niche Construction: The Neglected Process in Evolution. Princeton, Princeton University Press.

Pannekoek, Anton. 1909. Darwinisme en marxisme. Beverwijk 1980 Brochure 1, Herdrukken 1/3, Groep Radenkommunisme.

Pannekoek, Anton. 1953. Anthropogenesis: A Study of the Origins of Man. Amsterdam, North-Holland Publishing Co.

Potts, Rick. 1996. Humanity's Descent: The Consequences of Ecological Instability. New.York, William Morrow & Co.

Pringle, Heather. 2007a. 'Firestorm from space wiped out prehistoric Americans.' New Scientist issue 2605, 8–9 May (26).

Pringle, Heather. 2007b. 'Follow that kelp.' New Scientist issue 2616, 11 August (40–3).

Pyne, Stephen J. 2001. Fire: A Brief History. London, The British Museum Press.

Reed, David L., Smith, Vincent S., Hammond, Shaless L., Rogers, Alan R. & Clayton, Dale H. 2004. 'Genetic analysis of lice supports direct contact between modern and archaic humans.' Public Library of Science Biology 2,11, e340.

Reijnders, Lucas. 2006. 'Is increased energy utilization linked to greater

cultural complexity? Energy utilization by Australian Aboriginals and traditional swidden agricultural-ists.' Environmental Sciences 3, 3 (207–20).

Roebroeks, Wil (ed.). 2007. Guts and Brains: An Integrative Approach to the Hominin Record. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Sherratt, A. 1996. 'Plate tectonics and imaginary prehistories: Structure and contingency in agricultural origins.' In: Harris, David R. (ed.) The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia. London, UCL Press (130–40).

Sherratt, A. 1997. 'Climatic cycles and behavioural revolutions: The emergence of modern humans and the beginning of farming.' Antiquity 71, 272 (271–87).

Simmons, I. G. 1994. Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History. Oxford, Blackwell (1989).

Smith, M. Estellie. 2000. Trade and Trade-offs: Using Resources, Making Choices, and Taking Risks. Prospect Heights, Ill., Waveland Press.

Smith, Virginia. 2007. Clean: A History of Personal Hygiene and Purity. Oxford, Oxford University Press.

Spier, Fred. 1994. Religious Regimes in Peru: Religion and State Development in a Long-Term Perspective and the Effects in the Andean Village of Zurite. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1996. The Structure of Big History: From the Big Bang until Today. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Thorpe, S. K. S., Holder, R. L. & Crompton, R. H. 2007. 'Origin of human bipedalism as an adaptation for locomotion on flexible branches.' Science 316, 5829 (1328–31).

Trefil, James S. 1994. A Scientist in the City. New York, Doubleday.

Trefil, James S. 1997. Are We Unique? A Scientist Explores the Unparalleled Intelligence of the Human Mind. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Tudge, Colin. 1993. 'Taking the pulse of evolution: Do we owe our existence to short periods of change in the world's climate?' New Scientist, issue 1883, 24 July (32–6).

Tudge, Colin. 1996. The Day before Yesterday: Five Million Years of Human History. London, Random House (1995).

Vélez, Antonio. 1998. Del big bang al Homo sapiens. Medellín, Colombia, Editorial Universidad de Antioquia.

Vélez, Antonio. 2007. Homo Sapiens. Bogotá, Colombia, Villegas Editores S.A.

Vélez, Antonio. 2013. Homo Sapiens: Psychology as Seen from Evolution. Bogotá, Colombia, eLibros Editorial.

Vos, John de. 2004. 'Evolution of man: The adaptive radiation model.' In: Rubio Jara, Susana & Baquedano Pérez, Enrique (eds.) Miscelanea en homenaje a Emiliano Aguirre, vol. 3, Paleoantropología, Madrid, Museo Arqueológico Regional (406–13).

Vrba, Elizabeth S. 1993. 'Mammal evolution in the African Neogene and a new look at the Great American Interchange.' In: Goldblatt, Peter (ed.) Biological Relationships between Africa and South America. New Haven & London, Yale University Press (393–432).

Vrba, E. S., Denton, G. H., Partridge T. C. & Burckle, L. H. (eds.). 1995. Paleoclimate and Evolution, with Emphasis on Human Origins. New Haven & London, Yale University Press.

Wenke, Robert J. & Olszewski, Deborah I. 2007. Patterns in Prehistory: Humankind's First Three Million Years (Casebooks in Criticism). New York & Oxford, Oxford University Press.

White, L. A. 1943. 'Energy and the evolution of culture.' American Anthropologist 45 (335–56).

White, L. A. 1959. The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome. New York, McGraw-Hill.

Williams, M. A. J., Dunkerley, D. L., De Deckker, P., Kershaw, A. P. & Stokes, T. 1993. Quaternary Environments. London, Edward Arnold.

Wolpoff, Milford & Caspari, Rachel. 1997. Race and Human Evolution: A Fatal Attraction. New York, Simon & Schuster.

Zalasiewicz, Jan & Williams, Mark. 2012. The Goldilocks Planet: The Four Billion Year Story of Earth's Climate. Oxford, Oxford University Press.

Zeilinga de Boer, Jelle & Sanders, Donald Theodore. 2002. Volcanoes in Human History: The Far-Reaching Effects of Major Eruptions. Princeton & Oxford, Princeton University Press.

Zeilinga de Boer, Jelle & Sanders, Donald Theodore. 2005. Earthquakes in Human History: The Far-Reaching Effects of Seismic Disruptions. Princeton & Oxford, Princeton University Press.

推荐阅读书目

Allman, John Morgan. 1999. Evolving Brains. New York, W. H. Freeman & Co., Scientific American Library Series, No. 68.

Andel, Tjeerd H. van. 1994. New Views on an Old Planet: A History of Global Change. Cambridge, Cambridge University Press (1985).

Cavalli-Sforza, Luigi Luca. 2000. Genes, Peoples, and Languages. New York, North Point Press.

Crosby, Alfred W. 2006. Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy. New York, W. W. Norton & Co.

Potts, Rick. 1996. Humanity's Descent: The Consequences of Ecological Instability. New.York, William Morrow & Co.

Pyne, Stephen J. 2001. Fire: A Brief History. London, The British Museum Press.

Simmons, I. G. 1994. Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History. Oxford, Blackwell (1989).

Wolpoff, Milford & Caspari, Rachel. 1997. Race and Human Evolution: A Fatal Attraction. New York, Simon & Schuster.

[1] 本章使用的科学数据来自多种地质学、气候学、古人类学及考古学研究。

[2] 比较Tre.l (1997)。本章所述有关大脑的许多观察来自Allman (1999)。

[3] Chaisson (2001), p. 139.

[4] Magistretti, Pellerin & Martin (2000).

[5] Christian (2004)。这一观点并不完全新颖。亚历山大·冯·洪堡早已表述过类似想法 (1995, p. 80)；1960年，美国科学家里昂·斯普拉格·德·坎普（Lyon Sprague de Camp）谈到创新的速度时也提出了差不多完全一致的解释 (1993, p. 17)。

[6] 可参阅Potts (1996), pp. 181.。

[7] McNeill (1986), pp. 6-7.

[8] 有关生态位建设，可参阅Odling-Smee, Laland & Feldman (2003)。从科学的角度研究生态位建设可能始于查尔斯·达尔文1881年有关蚯蚓与地貌的研究。

[9] 可参阅White (1943 & 1959); Harris (1975, 1980 & 1997); Elias (1978); McNeill (1963 & 1991), pp. vii-xiii; Smil (1994); McNeill & McNeill (2003); Christian (2004); and Crosby

(2006)。

[10] 转引自Cook (1976), p. xii。

[11] 从文化人类学视角审视人类如何权衡投入与效益的富有见地的研究，可参阅Smith (2000)。

[12] Simmons (1994), p. 30.

[13] Cook (1971), p. 136。这些数据最初的单位是千卡 /日 /人均。要将其转换成瓦 /千克，为简单起见，笔者假定整个人类史上的平均体重约为40千克（成人与儿童合计）。结果，库克的数据与瓦 /千克值完全相同。当然，所有这些数据都还只是初步估算，故此提醒读者谨慎使用。

[14] 查尔斯·达尔文1871年就已提出这一观点，参阅Darwin (2004), pp. 72-73。有关近期的研究文献，可参阅van Andel (1994), pp. 90-94; Gamble (1995), pp. 79-84; Tudge (1993 & 1996); Vrba (1993) and Vrba, Denton, Partridge & Burckle (1995). Thorpe, Holder & Crompton (2007)认为，直立行走最初可能源于类人猿试图站起身来从一个树枝跳到另外一个树枝上的举动，由此慢慢进化出来的。

[15] 可参阅Potts (1996), pp. 50.。

[16] Kortlandt (1972); 同时参阅Coppens (1994) and Kortlandt vs. Coppens (1994)。

[17] 参阅Potts (1996)。

[18] Kortlandt (1980).

[19] 比较Goudsblom (1990 & 1992) and Gamble (1995), pp. 66-70。

[20] 荷兰天文学家安东·潘涅库克（Anton Pannekoek，1953）可能是最早讨论工具制造与脑量增加之间回馈机制的学者，最初用荷兰文发表，参阅Pannekoek (1909)。

[21] Potts (1996), pp. 11-12.

[22] Potts (1996), p. 121.

[23] 1918年，荷兰解剖学家路易斯·博尔克在阿姆斯特丹大学的一次演讲中提出来“幼态持续”的概念，后以荷兰文及德文发表（1918 & 1926）。可同时参阅Gould & Eldredge (1977), pp. 63-69, and (1993), and Vélez (1998, 2007, 2013)。

[24] Aiello & Wheeler (1995), pp. 199-221. See also Roebroeks (2007).

[25] 艾洛和惠勒曾使用“质量代谢率”（mass-speci.c metabolic rate）概念，其实与功率密度相同。他们由此计算出的大脑值略小于蔡森的15瓦 /千克功率密度值，但仍属同一幅度。

[26] Gershon (1998).

[27] Darwin (2004), p. 68.

[28] 有关在非洲和以色列学会控制和使用火的情况，可参阅Alperson-A.l (2008) ; 还可参阅Goudsblom (1992), pp. 16.., and Simmons (1994), pp. 38-39。

[29] Pyne (2001), p. 30.

[30] Niele (2005), pp. 29..

[31] 可参阅Gamble (1995), pp. 66-70; Goudsblom (1992); and Pyne (2001)。

[32] Goudsblom (1992), pp. 20..

[33] Reijnders (2006).

[34] Pyne (2001), pp. 24..

[35] 可参阅Gamble (1995); Simmons (1994), pp. 38-42; and Williams, Dunkerley, DeDeckker, Kershaw & Stokes (1993), pp. 190-221。

[36] 可比较McNeill (1963) and Harris (1975), pp. 164.。

[37] Reed, Smith, Hammond, Rogers & Clayton (2004)。身上的虱子可能是从头上的虱子进化而来。

[38] 可参阅Smith (2007)。

[39] Tre.l (1994), p. 11, and Barrow (1995), pp. 91..

[40] McNeill (1976), pp.15-33.

[41] Sherratt (1996 & 1997).

[42] Sherratt (1996), p. 133.

[43] 可参阅Potts (1996) and McBrearty & Brooks (2000)。

[44] De Vos (2004).

[45] Cavalli-Sforza (2000), pp. 93..

[46] 有关现代人类迁徙的理论总结，包括气候变迁在此过程中发生的重要作用，可参阅Mellars (2006); Burroughs (2006), pp. 109..; and Jones (2007)。

[47] Zeilinga de Boer & Sanders (2002), pp. 155-156.

[48] 有两位学术先驱强调美洲的迁徙是沿海岸展开的，即Fladmark (1979) and Gruhn (1988)。有关智利早期移民史的情况，可参阅Pringle (2007b) and Dillehay (1997)。

[49] Simmons (1994), p. 43.

[50] Simmons (1994), p. 44.

[51] 比较Pyne (2001)。

[52] 可参阅Simmons (1994), p. 37 and pp.74-75。有关更新世动物大量灭绝的说法并非没有争议。

[53] 可参阅Zeilinga de Boer & Sanders (2002 & 2005) and Fagan (2004)。

[54] Pringle (2007a); Firestone, West, Kennett et al. (2007); and Kennett, Kennett, West et al. (2009)。另可参阅van der Hammen & van Geel (2008)。

[55] Wenke & Olszewski (2007), p. 172.

[56] Spier (1994).

[57] 笔者从社会学视角研究宗教坚持如下观点，即社会学并非要决断哪种世界观或宗教为真，而其他的均为假。凭我对科学的理解，此类真假问题并非学术界能够决定的，因为使用科学方法，我们至今仍未能证实或证伪超自然力的存在或不存在。不过，学者们能够做到的，是观察人们表达了什么样的宗教世界观并从事什么类型的宗教实践。笔者曾对秘鲁整个历史上的宗教与政治以宗教需求和宗教约束为经纬加以详细阐释，可参阅Spier (1994, 1996)。有关从大历史视角阐释人类史上宗教问题的著述，可参阅Bellah (2011)。

第七章
近期人类史：已知最复杂实体的演进

对于一个高高在我们的地球之上、从天空的高处俯视人类的一切进步和变化的存在来看，人好像并没有什么不服从自然法则的地方，无论当他们赤裸裸地徘徊在森林里艰难地寻找食物的时候，还是当他们已生活在文明的社会中，就是说，当他们拥有最丰富的经验、终于沉浸在奢华之中，他们仍然日新月异地发明千百种新的用品、创造千百种方法来满足自己需要的时候，都是一样。

——霍尔巴赫：《自然的体系》（上卷），第11—12页
（*System of Nature*，2001，p. 11；原法文版，1770，p. 3）

引言

在本章，我们从“地球升起”视角审视过去1万年的人类史，此时的历史，文化变革已超越基因变化成为主导的适应机制（dominant adaptive mechanism）。在过去的1万年里，人类从靠采集狩猎为生的少数几个毫不知名的物种种群——总数大约100万个左右——发展成为今日地球上有70亿居民的大邦社会，从基本自给自足的农民到服务经济无不应有尽有。在此期间，人类对整个地球生物圈进行了如此深刻的改造，以至于1800年以来的时段愈来愈多地被称作人类世（Anthropocene），即人类主导的时段。相比之下，同样是在这一期间，除了太阳风的侵蚀和少许的天体撞击之外，月球表面却几乎没有任何变化。[1]

伴随文化变革在过去的1万年变得愈发重要，人类的生物变化（biological change）当然也从未停止过。事实上，文化变革与生物变化彼此之间一直在相互影响，虽然影响的具体程度还有待进一步澄清。比如，养牛并喝牛奶曾导致人类社会发生遗传基因方面的变化，变得更适合吸收畜乳产品。而遗传基因的改变又带来多种文化效应，比如传统的农耕生活愈来愈多地接受了畜乳产品，而近来还出现了世界范围的畜乳生产产业。另外，下文要讨论的由遗传基因决定的对传染病的不同抵抗能力在塑造人类史发展方面也发挥了重要作用。而这只是人类共同史一个重要方面的两个例子。不过，由于现在还缺少过去1万年间基因变化的总体概述，所以本章主要关注人类史上的文化变革。[2]

攀登复杂性的金字塔（5）：文化

于贝尔·雷弗将文化置于复杂性金字塔的顶端，他是这样表述的（1991，pp. 75-76）：

> 黄色的太阳光子不会直接转化成地球上的红外光子。例如，植物进行光合作用时会截获并储存太阳能，以此实现自身的成长和组织。生物学家所谓的“食物链”实际上不过一个事件序列，即植物吸收太阳能，草食及其他动物吃植物，食肉动物吃以植物为生的动

物。从物理学的角度看，这一序列可被看作是越来越高效的系统回收少量太阳能的过程。人类因为有意识、智力和思想活动等能力，所以就需要高度组织化结构——大脑——的生长和维持。人类的大脑能够储存并处理大量的信息。语言、艺术和科学均是熵量极低的创造性活动。……人类能够充分利用太阳光子转化而来的地球红外光子，于是创造出越来越有组织的结构，愈发远离了宇宙之初自然界的混沌状况。科学研究和艺术创造是人类朝这一方向努力的最好例证。

按照雷弗的思路，文化（或集体知识）乃迄今人类所知最具多样化、最繁复也是最脆弱的复杂存在，文化是大脑储存和处理的软件，虽然其传播不过是空气波（音频）和电磁波（光）的流动而已。大脑需要相当多的能量才能运行，产生的熵也更多，这是因为大脑内部有大量且繁复的化学机制，能够表达全部文化选项。但表达单一的文化选项需要的能量并不多。这样就可以造成各式各样的人类行为，从最微妙、最温柔的表情——包括真正令人印象深刻的同情——到最残酷的战争，等等。

所有这些塑造世界意象、历史记忆、未来愿景和行动计划或已在执行中的计划的神经网络均异常复杂、多样且脆弱。正因为蕴藏在大脑中的人类文化异常脆弱，所以我们对已经死亡的动物——包括已死的人——的文化无从了解细情，除非后者能够借助集体知识继续产出更富有活力的人为复杂性。更确切地说，已经死亡的动物虽然自身的复杂度已经降低，但其骨骼和躯干还多少具备一些活力，所以能够相对持久地保存下来，还能“告知”我们此类物种曾存在过。

对于已死去的人，我们只有在其产出更富活力的人为复杂性之后才能了解他们究竟思考过什么，又做了什么。早期人类用易腐烂的材料制造出的更为脆弱的人为复杂性早已消失。从那时起，在制造人为复杂性的同时，人类不得不权衡效率、脆弱性与耐用性之间的收益和成本，当然所有这一切都基于其各自不同的社会和生态条件及其既有的技术水平。

在制造复杂性的过程中，人类学会了利用电磁力和引力，比如制造出尖利的石块并投掷出去。其实在整个人类史上，人类一直在不断提升其利用这两种力的能力，有时取得惊人的结果。炼金术士也利用电磁力以把贱金属锻炼成黄金。其实，他们还不知道自己找错了力。直到20世纪，物理学家才发现化学原子核是被强力绑缚在

一起的，人若想改变它，就必须先控制这种力。这一根本的洞见遂导致一系列全新的人类操控自然的惊人之举。

从“地球升起”视角审视人类史，意在考察宏大历史格局是如何塑造了我们共同的历史。这样的视野当然容不下过多的历史细节。在谈论宇宙史的时候，人们很少关心是否所有已知的星系、恒星、行星、彗星、小行星及尘埃云团都一个不漏地交代过了。但谈到人类史，听众则通常期待某些个别事件——尤其是关乎“自身”社会的历史事件——有没有详细交代。之所以如此，部分原因是认同的情感作祟，而后者来自历史书写的传统，无论如何，自己人的历史总要置于历史叙事的核心地位。

从“地球升起”视角看待人类史可能培养不出上述的情感认同，但却能激发另外一种认同，即全人类属于一个很特别的动物物种，我们诞生于宇宙某个角落的一个很特别的星球，我们最近的近亲是灵长类动物，我们事实上与所有的生命体都有亲缘关系，而从宇宙的大视角看，甚至石头、流水和星星都是我们的同门远亲。如果说大历史叙事对既往的一切做了合理准确的描述的话，那么万事万物都是大爆炸后的微小粒子在“火雾”中造就的同门子孙。

上述在特定金凤花条件下能流过物质造成复杂实体起落兴灭的思路同样适用于最近的人类史。只不过据我所知，迄今只有极少数学者不那么明确地采纳这一思路，但明确使用者尚付阙如。[3]然而，我们似乎有理由假定：人类文化本质上是以人类自认为更好的方式改变自身行为及周边自然环境的一种努力。这其中包括如何获取足够的物质和能量以保持人自身的复杂性并同时创造适宜的金凤花条件。在实际生活中，人们通常会选择获取比现实需求稍多一点儿的物质和能量。事实上，正如前面第五章所述，包括人类在内所有形式的生命体在遗传基因上都有这样的倾向，目的是为度过青黄不接的时期。此外，某一人群成功收获物质和能量并创造适宜的金凤花条件往往意味着其他人群就无力做到这一点。正因如此，人类史有自身的动力机制，绝不是任何人可以计划操纵的。[4]

如果上述略显抽象的话，那我们尝试一下将这些原则应用到下面的实例，看看古罗马将军盖乌斯·尤利乌斯·恺撒（Gaius Julius Caesar，公元前100—前44年）是如何书写古代战争的，其中还交代了他征服高卢的过程。[5]以下是近人对这段故事的综述：[6]

> 恺撒的军队驻扎在比利时各地过冬，但在公元前53年春，这些营地遭当地部落袭击，损失严重。是年大部分时间，恺撒的军队都在与这些部落作战，并消灭了其中一部，包括男人、女人和孩子。在接下来一年多的时间里，高卢各部落组成联盟，在维钦托利（Vercingetorix）的领导下，奋起反抗罗马人。他们试图饿死罗马人，所以烧毁了自己的多个城镇，并把所有的部队和物资集中在几个戒备森严的据点里。恺撒的军队占领了其中的部分城镇，但未能拿下其他城镇。最后，所有的罗马军队集中围困阿莱西亚（Alesia）城，但却久攻不下。于是恺撒决定采取长期围困的方法饿死高卢军队，后来维钦托利率高卢人投降了。据估计，整个战争中有100万人丧生，另有100万人被卖为奴隶，整个高卢人口因战争之故损失了近1/3。

我们可以很轻松地把上述叙事理解为一场争夺控制权的战争，双方均试图以对自己有利的方式改变当前的条件，均试图通过直接的杀戮或破坏对方的物质和能流及适宜生存的金凤花条件以达到毁坏对方复杂存在的目的。罗马军队大规模杀戮高卢部落的族人，造成后者人员复杂度严重降低，而高卢部落则心甘情愿地毁掉自身的人为复杂性（烧毁城池，而那本是其生存的金凤花条件）及其累积的大量物质和能量，目的是让罗马人也同样得不到，以造成罗马人的复杂性也因此垮掉。但高卢各部落不会把自己全部的人为复杂性或自身的全部物质和能量供给都毁掉，因为那样的话，自己一方的人为复杂性也都没有了。可这种安排还是让罗马人获得了足够的储备供应，并最终保证了自身的复杂存在，在战争中赢得了上风。罗马人通过将高卢战士围困在后者自己建造的堡垒（阿莱西亚城）并待其物质和能量供给枯竭之时方取得了最终的胜利，结果终结了高卢作为独立复杂实体的存在。

我们现在归纳一下人类自身的普遍特征，因为这些特征才使得过去1万年的人类史充满了波澜壮阔。除了上文提到的使人类有能力制造出史无前例的复杂实体的精确抓握之外，所有现代人类还拥有一些其他动物没有的特殊的、由遗传基因决定的属性。其中最突出的是更复杂的大脑和喉咙，此二者使人类能够绘制出更完善的心理图谱以实现更有效的交流和社会协调。正如约翰和威廉·麦克尼尔在《人类之网》（2003）一书中所指出的那样，这极大程度地提高了人类控制能流的能力，并因此编织出更大更密实的相互依存之网。威廉·麦克尼尔对此总结如下：[7]

使人类得以更大程度地控制能流的是人能在议定意义的基础上实现彼此交流并协调行动。当然这一切都仰赖语词和姿态方面的创意，而且消耗能量甚少，但其效应却堪比所谓蝴蝶扇翅掀飓风，造成地表能流流向的重大变迁。

威廉·麦克尼尔与人类史的技艺

美国世界史家威廉·麦克尼尔经常强调技艺在驱动人类史发展过程中有重要作用，尤其是与技艺更高超的外部世界实现交流常会导致新的发展，因为这种高超的技艺会威胁到当前社会的现状。面对这种情况，人们可选择去学习和发展新技艺，但也可以选择闭关自守。按照麦克尼尔的说法，这就是所谓的“文明”互动，在很大程度上可以解释人类史发展的历程。麦氏的巨著《西方的兴起》（1963）正是这一观点的展开，且又在另一部不太出名但同样精彩的著作《欧洲史新论》（*The Shape of European History*,1974）中对此进行了理论上的深入探讨。美国世界史家杰里·本特利（Jerry Bentley，1949—2012）等则接受了麦氏的这一观点和思路。

20世纪80年代，麦克尼尔开始阅读诺伯特·埃利亚斯的著作，同时还接受了美国历史社会学家伊曼纽尔·沃勒斯坦（Immanuel Wallerstein，1930—　）及德裔美国社会经济史家安德烈·贡德·弗兰克（Andre Gunder Frank，1929—2005）相关著述的影响，后二者均强调人类社会的相互依赖，远不是民族国家和“文明”所能涵盖的。此后，麦克尼尔为1991年重印本《西方的兴起》撰写了一篇回顾性的文章，对自己原有的观点和思路进行了反思。为阐发这一新洞见，麦克尼尔联合自己的儿子美国生态史家约翰·麦克尼尔（John R. McNeill，1954—　）共同撰写了一部新的人类史综合性著作，即《人类之网》（2003），上述反思也被纳入其中。这部著作还有其他一些新的洞见，在本书中也提到了一些。但麦氏强调技艺驱动人类史发展的观点始终没有改变。

虽然现代人类早在20万年前就首次具备了上述所有这些特别的遗传特征，但却在许久以后才开始有系统地大量提取能量并编织更复杂的网络。显然，他们日益增长的灵活性以及他们的学习和沟通能力并未立即导致早期智人在获取物质和能量方面的重大变革。因此，文化和交流能力似乎只是过去1万年各项主要进展的重要前提条件，而不是直接和根本的动因。

农业革命

大约1万年前，整个地球上的人口约在100万至1,000万之间。自此，人类开始深刻地改变人与自然的关系，最初主要是通过驯服植物和动物。这种作为的结果，是加剧了人与其他物种争夺太阳能的斗争。因为培植和蓄养自身所需的植物和动物，就必然排斥其他所谓不那么高产或有价值的物种，人类实际上已开始操控培植植物和蓄养动物所在区域太阳能的捕获。

未经人类驯服的区域通常更具生物多样性，因为所有物种都在争夺一种稀缺资源，所以你争我夺，各显身手，成功捕获太阳能的效率很高。而当人类开始从事农业和畜牧业之时，生态环境就被大大简化了，因为人类总试图消灭那些自己认为有害的物种。结果，在这种被驯服的地区，植物吸收太阳能的效率有所下降。不过，从人类的观点看，这些地区产生了更多有用的能量。

农业的兴起，一言以蔽之，可概括为：人类在某些特定的区域更集中地培植有用太阳能收集器（植物）或驯养生物能转化器（动物）的一种努力，目的在于改进太阳能向多种生物能的转化，以维持或改进人类自身的复杂性。这样，人类便从低增益能中创生了高增益能。科学家弗兰克·尼尔把这一阶段的人类史称为“农业文化能源体系”（agrocultural energy regime），[8]而正是这种能源驱动了农业社会人类复杂性的提升。显然，获取这种能量以维持新的复杂性的成本没有超过它所带来的收益。

由于上述努力，整个地球上相当一部分动植物的再繁殖直接受人类的控制。对这些受控制的物种而言，非随机消除过程已不再起作用，取而代之的是人的文化选择，是人决定着哪些物种可以活下去。通过这样的过程，早期农业社会的人们试图在某些特定的区域获取更多的太阳能，以实现物质和能量的稳定供给。

更准确地说，人类驯养某些动物并不是为获得充作食物的更多生物能。比如，人类驯养犬类就是想找个狩猎的伙伴，后者有助于人类抓住或保护其他动物。在农业体系中，犬类还有助于保护人类及其财产不受他人的侵害，因此解脱了人的相关负担。直到近期，犬类才成为宠物被

收养，某种程度上也是替代了人的工作。人类最初驯养猫科动物是为了防止啮齿目动物偷吃人的食物，而最近，猫类也成为人类寄托情感的宠物。人类还培植了很多种类的植物也并非为了得到食物，比如种树可能是为了得到建材和住所，养花草树木是为了花园装饰等，还有一些是出于更实际的目的，比如获取染料。很多时候，我们甚至很难说这些物种在多大程度上是被培植或驯化的，虽然它们肯定受制于人类。当然，这只是人类掌控大自然的总体趋势的一部分，这一趋势早在农业革命之前即已发端，而植物栽培和动物驯养则大大加速了这一过程。

但获取有用的物质和能量也不是没有代价的，那就是人要付出更多的劳动。一般认为，相比农耕社会，早期的采集狩猎者并不需要付出太多的时间和精力从事物质和能量的获取。换言之，采集狩猎者的能回报率要高一些。不过，此类资源通常不是很集中，且伴随季节会发生很大变化。除非人们居住在能量特别集中且一年四季都比较丰盈的地带，比如遍布海洋生物的海流地带。否则，人类就必须过着游牧式的生活，而且人口密度不能过高。这样一来，人类社会的复杂性就只能维持在较低的程度，且必须抑制人口增长。因为从事农业和畜牧业意味着更多的劳动付出，所以出现了能回报率趋降的现象。但后者的优势是能够集中收获更多的物质和能量，所以就意味着更多的人可以生活在同一地域。因此，社会复杂性提升的条件就随之涌现。

从一般的观点看，农业革命可以解读为包含两种复杂适应体系的一个过程，一方面是人的体系，另一方面是动植物的体系，二者相互适应，但前者居统治地位，人的目的在于从某个地域获取更多的物质和能量。因此，驯化对人类和由人类监管的少数动植物来说是有好处的。美国科学家史蒂芬·布狄安斯基（Stephen Budiansky，1957— ）甚至提出，从被驯化的动物角度看来，还真说不清是谁驯化了谁，因为人类总要努力劳作才能供养动物，为其提供足够的物质、能量和良好的生存条件，而动物却不须回报就能丰衣足食、茁壮成长。[9]其实植物也是一样。但有一点：被驯化动植物的命运要视人类的兴趣而定，而不是相反。人类一旦决定不再蓄养，动植物的数量便会急剧降低。

被驯化物种中最重要的要算是群生植物和动物了。早些时候，亚历山大·冯·洪堡和查尔斯·达尔文都曾使用过这一概念。读者也许还记得，这些所谓群生动植物，后者如草，前者如大型食草动物，总是大量聚集在一起以免遭到捕食者的侵袭。因此，群生植物很容易大量集中种植，而动物的群生性也使得人类相对更轻松地承担驯化动物群的“大哥大”角色。

由于来自人的选择压力，驯化动植物的基因发生了变化。植物身上可被食用的部分增大了，而自身独立繁殖的能力却降低了。所以，这类植物没有人的干预就不能成活。显然，人类选择了那些不经干预就会被非随机消除或至多处于边缘的特征。相比之下，最初被驯化的动物往往比野生同类体积要小，这里最主要的考虑是驯化的动物一定要更驯服、更听话。因为差不多所有被驯化的动物都是群生的，所以早期牧民不倾向选择动物中的“大哥大”，而宁愿选择更温和的跟从者，改由人类充当驯化动物的大哥大。早期人类甚至会选择那些在自身种群竞争中无力谋得足够物质和能量的动物加以驯化，而人类的介入为这种相对温和的动物提供了新的金凤花条件，使其成活的概率大增。

早在以狩猎为生的阶段，早期现代人类就已爬升到既有食物金字塔的顶峰，虽然还需不时地从低端采集相当多的物质和能量。但就在此时，早期农业的先驱们已经在根据自己的设计重组整个食物网。与此同时，也许部分是出于无意，他们又开始改造生物食物金字塔的其余部分了。其他不被人喜爱的植物、动物和微生物，如杂草、啮齿类动物、大型食肉动物和害虫，也都试图从新的被驯化动植物的金凤花条件中得到好处，于是导致了野生食物金字塔的失衡。因此，人类只得通过不懈的努力来阻止来自各种生物的侵袭，一直持续到今天。

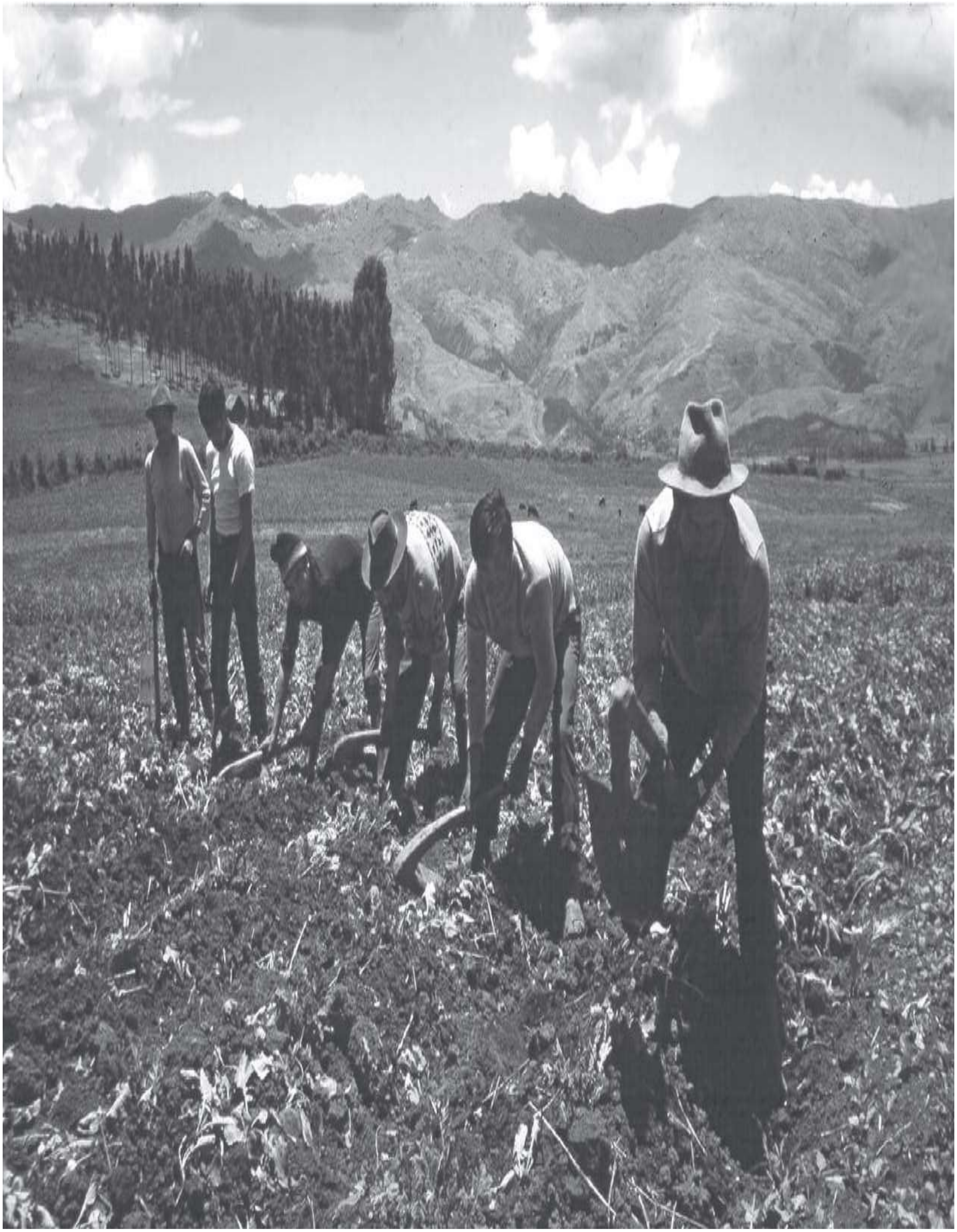


图7.1 农耕文明的本质在于，它决定了什么东西会生存下来以及什么东西必须被毁灭。1986年1月，秘鲁安塔省祖伊特（Zurite）村附近康纽库伊卡（Cconucuyca）一家人正在为田里的土豆秧

除草（由本书作者拍摄）

至于农业革命发生的根源，学术界已就此进行了广泛的讨论，[10]但直到今日也没有完全弄明白。农业革命之前曾有一个漫长的初始阶段，其间人们以各种方式进行动植物的试验。比如采集狩猎者通过定期烧荒，就会创造出对某些动植物物种更有利的生存条件，如野生谷物和大型食草动物，后来这些物种就被驯化了。[11]早期人类诸如此类的努力的痕迹现在已经很难再找到了，包括驯化动植物的痕迹。这一朝向农业和畜牧业过渡的初始阶段可能是一个在全球范围发生的长期渐进的过程。[12]

很有可能的是，全球范围的气候变迁对农业革命的发展起到了重要作用。最后一季冰川结束后，全球范围开始进入持续至今的所谓“全新世”（Holocene）暖期，农业革命也因之旋即展开。这一过渡期是米兰科维奇循环的结果，虽然过渡本身并不是十分顺利，而总夹杂着大幅的温度波动。大约13,500年以前，最初的暖期出现，但紧接着在12,900年至11,700年期间，就又陷入了一个极端的冷期，史称“新仙女木事件”。上面第六章对此已有交代：2007年，曾有美国科学家团队提出12,900年前有一颗巨大的彗星在北美大陆上空爆炸所以造成了全球变冷（科学界对此仍有争议）现象，而与此相反，气候科学家们则认为这是现今位于加拿大的一个巨型冰湖经圣劳伦斯河倾泻至大西洋从而阻断墨西哥湾暖流所致，结果造成了北半球暂时性变冷。[13]

无论真实的原因究竟为何，但只有在这一冷期最终结束后全新世才真正开始。而上一个类似的暖期发生在约125,000年前的间冰期，当时的现代人类仍生活在非洲。[14]故此，全新世的出现是现代人类经历的第一个全球范围的气候大变迁，从而很可能构成全世界范围农业兴起的主要诱因，虽然视具体情况在不同区域产生了不同的效果。在很多地方，全新世的肇始都比此前的条件更适合各种动植物的生长。此外，在许多地方，人类的人口压力均有所增加，致使他们更加努力地寻求必需的物质和能量。美国考古学家布鲁斯·史密斯（Bruce Smith，1946— ）对此总结如下：[15]

> 从长远看，气候压力和人口增长似乎有助于这一进程，一方面创造了资源梯阶，另一方面也使得文化边界沿资源丰富的地区硬性展开。当然世代艰难时期迁到条件更好的地区绝非易举；此时的人类社会必须有能力应对当前的困局。在这些地区，人口增长或其他

> 因素也可能使人们忧心忡忡，总担心哪一天会出现资源短缺，所以迫使整个社会提高食物产量和食物供给的可靠性，从而为动植物的驯化开启了绿灯。

英国考古学家大卫·哈里斯（David Harris，1930— ）强调指出，要理解早期人类向农业社会的过渡，我们一定要考虑食物供给事实上存在着季节性差异。[16]尽管一年中的某些时期能够为采集狩猎者提供丰富的食物，就像传说中的伊甸园一样，但一年中总有青黄不接的时候。再加上人口增长和由过度开采或气候变化带来的资源短缺的压力，上述状况就愈发恶化，而要解决这些问题，就必须通过社会体系建立粮食存储制度。于是，不断增长的人口压力和日益恶化的气候条件最终迫使人们更多地关注自身生存必须仰赖的动植物。这一发展的结果，是人们慢慢地转向农耕生活方式。

因此，定居的采集狩猎者首先会利用那些不需大量劳动付出就可获得的资源。但伴随人口的增加，这种资源会出现匮乏。作为回应，人们只好加大开采那些单位劳动产出不那么丰厚但却相对集中和高产的资源。当时可能存在这样一种趋势，即从刀耕火种（或毁林轮垦）转向定居耕作，从轮地种植转向轮作耕种，包括设立休耕期，其实这一做法乃是刀耕火种的残余。与亚热带地区和温带相比，在热带地区，刀耕火种居主导地位的时间更长，这很可能是因为这里的太阳能更充足，所以单位产量也更高的缘故。

农业革命在大西洋两岸的数个地区展开，前后历时几千年。其中包括新月沃土地带（Fertile Crescent）的丘陵地区、印度河流域腹地、连绵起伏的东亚丘陵、新几内亚高地（这里呈亚热带气候）、墨西哥高原和安第斯山脉地区（呈亚热带气候，甚至有温带气候特征，随海拔高度而有所不同）。所有这些地区共有的一个特点是其均处于丘陵地区且呈亚热带气候。显然，这些地区具备农业兴起的金凤花条件。目前学界认为，农业的发端只有一次，随后在全球范围传播，因为后发地区当时与原发地区还不存在密切的联系，所以不可能成为农耕生活方式的发源地。看来农业的出现是一个自发的过程，且在大多数地区甚至所有地区都是独立发生的。

在非洲、亚洲和美洲的热带地区，农业出现的主要诱因差不多是相同的，即最后一季冰川的结束导致生态环境发生重大变化，并进而导致生活在此地的觅食者的食物结构发生变化。但根据区域的不同，其变化过程也有所不同。比如在亚马逊上游地区，热带森林取代了此前曾提供

充足食物的开阔地带。因此，栽培植物，包括种树、开辟小型种植园，成为效率颇高的一种能源选择。随着人口的增长，这些早期的农民在不知不觉中就走上了农业集约化的道路，又岂知这是一条踏上去就不可能再回头的路。[17]

如此看来，农业兴起有多种不同的方式。比如在今日叙利亚北部的阿布·呼雷拉（Abu Hureyra），谷物种植和畜牧业早在1.3万年前即已发端，也就是在向第一个暖期过渡期间，后来暖期随新仙女木事件而告一段落。用英国作家兼科学家威廉·巴勒斯（William Burroughs，1942—2007）的话说，就是：[18]

> 有证据表明，阿布·呼雷拉的狩猎采集者最初栽培农作物是因为其作为主食的野生植物产量出现了急剧下降，而在此前至少4个世纪的时间里，他们一直以野生植物为生。野生植物减产是因为气候突然变得寒冷干燥且变幻莫测。伦敦大学学院的戈登·希尔曼（Gordon Hillman）及其同事发现，先民搜集到的野生果实品种逐渐减少，而后栽培果实的品种逐步增加。野生植物中最依赖水源的首先死去，然后那些相对更顽强的也一个接一个地死去了。于是狩猎采集者们开始人工培植先前采集到的野生果实。由于野生植物的生存环境很不稳定，所以先民们就把野生植物转移到更适宜的地带并悉心培育。……虽然新仙女木事件带来的气候变化可能是农业耕作的最初动因，但从长远看，全新世的稳定气候才是农耕生活方式得以持久的最重要的因素。

同样是在新月沃土地带的某些地区，也有先民最初是在野生动植物较丰富的地区定居，而后又开始储备食物以应对青黄不接。换言之，他们先是定居在物质和能量天然比较丰富的地区，但随着时间的推移，人口增加了，而能源供给却日益恶化。此时就有必要付出更多的劳动以集中所需资源，于是很自然地转向了农耕和畜牧。相比之下，在安第斯山脉地区，人们最先培植的是葫芦（也许是为储水用）和辣椒（也许是作为香料或药品），说明此时当地人对食物没有特别强烈的需求。不过，在随后的几个世纪里，古安第斯人和早期墨西哥人也开发出类似的农耕体系。

出生于新西兰的美国大历史学者乔纳森·马克利2009年曾提出，禾科植物对人类历史的发展至关重要。禾科植物早在恐龙还在地球上悠然漫步时即已生成，但此后直到3,200万年前却一直处于相当边缘的地

位，随后却很突然地发生了适应辐射，由此分化出多个禾科亚种并占据了多种多样的生态位。这部分得益于光合作用的创新，从此使得禾科植物能够更高效地捕捉太阳能。在800万至500万年间，禾科植物再次很突然地广泛传播，于是造就了非洲、欧亚大陆和南北美洲一望无际的大草原。

禾科植物因广泛扩散而改变了很多地区整个的生态结构，因为禾科植物为大型食草动物提供了绝佳的生存机会，而食草动物又供养了捕食的野兽，其中包括人类。我们在前一章看到，所有这些物种都在一望无际的非洲大草原尝试适应和生存之道，当时整个非洲大陆都出现干旱景象。后来人类在中东等水草肥美的地区定居下来，享受着后来被称为谷物、稻米和玉米的果实，但随后不久就发现，这类供给正逐步减少，而人口却在增长。这为此类禾科植物的种植奠定了基础，甚至还包括现今巴布亚新几内亚的甘蔗。那些选择了畜牧业路径的人们也必须追逐水草，但人不能直接消化草，所以人们蓄养了大量的食草动物，如牛、绵羊、山羊、美洲驼和羊驼。随着时间的推移，许多不同种类的草被大量种植，直到今天还是人类很大一部分营养的重要来源。由于水稻的单位产量比其他禾科植物要多，而水稻种植又需要更密集的劳动力投入，因此，种植水稻的社会家庭子女多一些自然会有好处，所以人口增长就更快。这在很大程度上说明了当今亚洲以水稻种植为生的社会为何人口甚巨的原因。

类似的农业发展在很多地方都有发生。虽然新兴地区和区域都存在这样那样的差异，但植物种植和动物蓄养的生活方式在全球各地却是大同小异。显然，居住在不同地区的人们都找到了这条文化路径，正是某种共同的制约造就了生活方式的雷同。其基本原理如下：首先，人们开始依赖的食物需要一年四季的劳动付出。久而久之，人们在改造生活环境的同时，也改变了自己的行为模式。上述多种作为的共同结果，是此前人们赖以为生的许多野生物种变得越来越稀少甚至彻底消失了，而早期的耕种者也逐渐生疏甚至失去了他们先前的狩猎、采集技能。虽然所有这一切开始可能只是无意的一步一步的历程，人们根本没有计划发展出一套农耕体系，但随着时间的推移，新兴的农、牧民却已别无选择，只能沿着他们赖以生存的农业复杂性道路继续前行。这一点与寒武纪生命大爆发时期复杂生命体感到的路径依赖惊人地相似。伴随一步一步的发展，路径依赖造就了更为精致的农耕体系，而旧有的采集狩猎体系逐渐穷途末路。

女人似乎培植了最早的庄稼，而男人驯化了最早的家畜。虽然此说还缺乏确凿的证据，但确是狩猎采集社会传统性别角色的逻辑延伸，那

时的女性负责采集植物，而男人负责狩猎动物。一旦牵引犁（traction plow）引入农耕，男人可能就开始承担犁地的任务，而在以前这可能一直是女性的职责。总的来说，随着农耕劳作的加剧，男人开始取代女性成为农耕体系主要的劳动力。换言之，一旦男人与野兽的力量结合到一起——先是家畜犁地，后有骑马弄枪——农耕文明便呈现出加速发展之势。此前，女性在动物世界中从未遭遇过如此强有力的伴侣，不过，较弱的性别却可以利用自身丰富的植物知识来影响两性之间的力量平衡，尤其是有些植物显现出剧毒之时。如果此说成立的话，此时的女性逐渐被推入正在形成中的家庭领域，同时，由男性主导的公共领域也渐趋成形。

洪堡论农业与集体知识

1818年，亚历山大·冯·洪堡对农业与文化之间的关系发表了如下看法：

对热带农业进行了多方思考之后，我们会不由自主地认识到：在清理出的土地和社会进步之间实际存在着一种密切的关联。土壤肥沃与生机盎然着实让生活在这里的人享受着丰富的资源和无忧的生活，但却阻碍了国家走向文明的进程。这里的气候如此温和且别无二致，所以人们迫切需要的只有食物。正是这种感觉驱使人们去偶尔劳作，而且颇为惬意；我们完全可以想象：他们被物质的丰盈所包裹，尽享芭蕉和面包树的余荫；而我们的族人却头顶严酷的天，置身于人工培植的谷地中间，从未停止过与大自然做永恒的抗争……相比之下，前者大脑运行的速度自然要慢得多。

在欧洲，我们凭种植园的大小就能判断当地居民的数量；而在热带地区，情况却恰恰相反，在南美洲最温暖、潮湿的地区，哪怕人口非常稠密的省份也几乎不见任何培植耕作的迹象，因为这里的人要吃饭，只需开垦一小块地就足够了。……这里的人没有邻居，几乎与世间其他的人类毫无联系，每个家庭都像是一个单独的部落。这种与世隔绝的生存状态自然会阻碍文明的进步，因为文明的进步与社会成员众多且关系密切、丰富多彩呈正相关。［亚历山大·冯·洪堡、埃梅·邦普兰（Aimé Bonpland）著：《1799—1804年新大陆热带区旅行自述》（*Personal Narrative of Travels to the Equinoctial Regions of the New Continent, During the Years 1799—1804*），Vol. III（London: Longman, Hurst, Rees, Orme,and Brown,

1818），第14—15页。]

农耕体系的发展

随着时间的推移，各式各样的农业体系在不同地区和区域建立起来，从热带森林的毁林轮垦到欧亚大陆及非洲大草原的精耕细作和畜牧助耕。总的看来，这是一种源于主要文化创新的文化适应辐射。这种农业体系不只定期引进新物种，还持续不断地推出新技能，如犁、石磨等新工具，并努力确保土地保持肥力，如通过定期灌溉。

人们还学会了以各种方式利用动物资源。除了作为肉食的来源之外，人们学会了从动物身上更持久地提取其他资源，比如牛奶和羊毛。此外，动物拉犁的创新（用动物的力量辅助农耕）可能在6,500年前就已存在，使农耕效率得到大幅提高。[19]当然，这种发展是有条件的，即当地必须有适当的役畜（draft animals）、足够的动物饲料和相对平坦的耕地才能有效地使用。比如，美洲就没有这样的役畜，所以役畜耕犁做法直到西班牙人引入牵引犁和役畜——通常是牛——之后方才启动。而在安第斯山脉的丘陵地区，至今牵引犁也无法使用，所以耕地时还使用老式的脚犁（foot plows）。

于是，新式的农民被绑在了日复一日耕作不已的土地上，因为他们要靠庄稼吃饭。因此，他们开始了相对定居的生活，要在定居点储存收获来的粮食和劳动工具，如斧头和磨盘。换言之，物质和能量资源更集中、更本地化导致了许多新型地方化的人工复杂性及人工创制的金凤花条件问世。在此过程中，农耕家庭逐渐演变成生产单位——至今在许多传统的农业社会也如是，这日益凸显了核心家庭在更大的家庭网络之中的重要性，因为男人和女人在核心家庭中往往能够起到相互补充的作用并实现合作耕田，从而形成了颇为高效的生产单位。牧民的生活与此截然不同，必须经常迁徙，因为牲畜需要定期更换新鲜的草场，而他们一定要跟上畜群。在这样的社会中，人们不大重视核心家庭，而更看重多偶制（polygamy），这是因为妇女对放牧无大贡献，所以更适合在居所养育子女，而丈夫和其他男人——包括那些没有机会找到女伴者——要么放牧，要么成为护卫的武士。此外，大多数，甚至所有的农耕社会都进化出了周期性的历法，对播种、除草和收获都有具体的时间安排。随着时间的推移，这种惯例在人群中造成了新型的时间意识和社会协调机制。

农业和畜牧业的兴起要求建立或完善存储体系，以补充食品供给不足之需。存储食品不只要防范自然毁损，还要提防人和动物的贪婪。为此，人们创设了人为的金凤花条件和复杂实体，如仓库以及非常明确的社会规范。而一旦此类的存储体系成形，就成为人类生活中须臾不可或缺的一个组成部分。

美国生态史学家艾尔弗雷德·克罗斯比（Alfred Crosby，1931— ）及生理学家贾雷德·戴蒙德（Jared Diamond，1937— ）等曾提出，欧亚大陆是1.7亿年前潘吉亚超级古陆破碎后遗留下的最大的一块，所以这块陆地上蕴藏的植物和动物最为丰富，尤其是适合驯化的动植物，这丝毫不令人惊讶。此外，欧亚大陆东西向延展颇深，故此在很大的范围内存在着类似的生态环境。这使得大范围培植某些物种变得可能，而且特别有助于物种的传播扩散。

相比之下，在非洲和美洲，可被驯化的动物要少得多，而且这几大洲北南走向的中轴也使得驯化动物的传播困难得多。比如在美洲，传播的取向要么向北、要么向南，而无论北南，自然环境变化的都特别快，使驯化的动植物都很难甚至不可能兴旺起来。就这一方面而言，安第斯高地应该是一个例外，因为由此向北南两个方向延伸相当长的距离都有类似的生态条件。因此，难怪印加帝国会沿安第斯高地南北向的中轴发展起来。但这只是一个例外，与欧亚大陆相比简直小得可怜，因为在欧亚大陆，同一种庄稼可在绵长的温带一路播种展开，从中国的华东一直到整个西欧。由于这一地理优势，欧亚大陆的居民在农业和畜牧业生产方面可谓享受了无与伦比的开端（unbeatable head start），包括驯养马匹，而随着时间的推移，马匹对这一地区加速社会和技术进步做出了巨大贡献。[20]

大约1,500年前，地球上新物种的驯化最终告一段落。据英国科学家尼尔·罗伯茨（Neil Roberts）称，在旧大陆，最后一批主要物种的驯化发生在距今约3,500年前（如中东的骆驼、中亚的大蒜、非洲的珍珠粟），而在美洲，驯化过程约在1,500年前以烟草的驯化告终。[21]据我所知，唯一例外的是兔子（欧洲中世纪期间驯化）和甜菜，后者是约200年前在拿破仑治下的西欧培植的，据说是为了取代蔗糖，因为当时英国海军的封锁造成蔗糖稀缺。也许最近有不少其他较小的物种也被驯化了。不过就我个人所知，文献中所谓物种驯化早已结束的说法几乎没有人认可，其实文献中想表达的也许是截至那时，所有可被驯化的主要陆地物种都已经被驯化了。但驯化新的物种也许不是特别值得，因为要在物种身上强化人所希望的特征通常需要很长时间，需要很多代的更新。

相比之下，水栖物种的驯化可能起步较晚，而且迄今还没有结束。在有些地方，人们喜欢在人工池塘养鱼，如稻田，而且不知从何时起，人们开始特别热衷驯化鱼类并且做了大量的尝试。一方面，近年来由于频繁捕捞，野生海洋资源呈过度开发之势；而另一方面，人们在此前野生鲑鱼出没的沿海地带建起了大量的鲑鱼养殖场。

新的陆地物种不再引入农业体系当然并不意味着农业发展的整体终结。与此正相反，已驯化的动植物目前正被精细化处理，再加上农业技术的不断进步，新的金凤花条件不断被创造出来，包括水稻田、灌溉梯田、浮田、温室和圩田。今天，基因改造在改变人类赖以生存的动植物方面也起着重要作用。

从最初的驯化一启动，人们就开始把庄稼和动物转移到它们更适宜生长的地方。这实际上是驯化动植物全球化的开始。今天，大多数被驯化的动植物都被运到它们有条件生长的地方，而各类的粮食作物更是在全球范围各处输送。在农业发展的早期阶段，由于缺乏适当的运输手段，农产品不可能实现大规模运输。还有一点，伴随驯化动植物在世界各地的传播，这些动植物的捕食者，如昆虫、微生物和老鼠等，也尾随而来，虽然后者的追踪扩张当初都没有想到。

农业革命的社会效应

农耕体系的问世带来了深刻的社会变革。首先，儿童对农业生产有了更多的贡献。在狩猎采集社会，儿童通常只是一种社会负担，但在农业社会中，他们很小就可以帮助播种、除草、收割和饲养牲畜，从而为家庭做出不小的贡献。这一改变消除了对人口增长的限制，实际上造成多子多福的局面，尤其是在年幼的子女能够照料年迈父母的情况下。结果，人口数量迅速增长。据估计，大约一万年前，人类总人口已达到100万至1,000万，而到了5,000年前，这一数字已增至约500万至2,000万。[22]

根据美国人类学家埃里克·沃尔夫（Eric Wolf，1923—1999）的研究，当时的农业生产虽然还依照亲缘关系组织实施，但整个社会体系的各个方面早已面目全非。[23]也许最重要的是，早期耕种者被牢牢地绑缚在自己耕种的土地上。结果，他们彼此之间的关系也变得更加紧密。于是，他们的村庄就成为“社会牢笼”（social cages），人数比从前增长了许多，也更密集紧凑。[24]这种农耕社会似乎在相当长的时间还保持着相对平等的传统，但后来慢慢地，也是非常肯定地，朝等级制的道路迈进，逐渐发展为文化人类学家所谓的“酋邦”（chiefdoms），即社会强人愈来愈多地凌驾于广大群体之上。

复杂动物的崛起与农业社会的出现之间有某种惊人的相似之处。多细胞生物体内的细胞变得日益相互依赖，后来还出现了细胞间的分工，这正对应人类之间愈发强烈的相互依赖，人类的社会分工也逐渐形成。复杂生命体和农业社会均收获了更多的物质和能量，在生产性、建设性增强的同时也变得更具破坏性。另一种相似之处，在人类史的这一阶段，文化进化出现加速，而人类文化体系的寿命却缩短了。

作为正在形成中的分工的一部分，农民和牧民之间出现了更多的相互依赖，因为游牧民族需要农民生产的碳水化合物，而农民也需要牧民掌控的部分牛肉蛋白质及其他产品，如羊毛。虽然新定居的农民相对早先的采集狩猎者要强大得多，但也更容易遭受攻击，因为他们被绑缚在固定的土地上，连同不断增加的财物。相比之下，游牧牧民仰仗的食物来源可以随时迁移。牧民还可以肆无忌惮地攻击、劫掠他者，不成的话还可以逃跑，尤其是在马匹被驯服之后。因此，毫不奇怪，游牧民族往

往试图通过掠夺获得农产品，因为他们更善于流动，所以掠夺起来很容易。作为回应，农民们也逐渐学会了自我保护，因此形成了大致平衡的交换体系。

新兴的社会性农业体系又进一步刺激了土地开发的加剧。布鲁斯·史密斯对此有如下解释：[25]

> 在较大定居点新定居下来的人们自然需要新式的社会整合及互动机制，而且还需制定土地和资源产权控制的新规则。这种变革为农业生产带来了更多的收获和剩余产品，而剩余产品又可以用来建立和维持各种合同关系：亲戚或邻居有困难的时候可以借用他家的剩余产品，还可以用来搞一些社区的庆祝活动，或在婚嫁之时当作嫁妆和彩礼支付，从而形成新的家庭联盟。除了灯红酒绿的比拼，实际上还有各种社会力量在发生作用，敦促家庭联盟花费更多的时间筛选调试种子以提高产量，或使剩余产品能够更持久地储存。

虽然原则上农耕体系能够生产出剩余产品了，但数千年来，这种剩余产品除了用来满足人们的日常所需之外并未带来人为复杂性的大量累积，也未见社会复杂性出现迅速增长的局面。如果说当时的传统农业社会为历史发展提供了某种合理的模式，我们完全可以说：当时剩余产品的大部分，甚至全部剩余产品，都用来从事灯红酒绿的大比拼并履行其他社会责任或义务，这实际上在当时的社会产生了一种经济上的均平效应。[26]这种形式的物品交换造成了一种社会义务的网络，特别有助于饥民度过青黄不接的年景。鉴于这种情形，剩余产品累积的规模并不是很大，但也在很大程度上限制了更繁复的社会或技术复杂性的出现，而后者正是所谓“文明”社会的标志。当时的人们似乎更喜欢把社会复杂性保持在尽可能低的水平。这种趋势很可能是人类的一个基本特征，之所以如此进化是因为人们认识到：要提升复杂性就必须获得更多的能量。事实上，人们可能会感到奇怪：为什么人们宁愿付出更多的艰苦劳动去创造更高程度的复杂性，也不甘于过相对简单而快乐的生活呢？[27]

总之，在经历了一个富于革命性的开端之后，一种农民的生活方式最终成形且保持了惊人的连续性，从8,000年前左右一直持续到不久以前。直到20世纪，这种由农民主导的农耕体系才开始被改造成工业性的农耕生产方式。然而，即使在今天，在工业化程度较低的地区，上述历经数千年的农耕体系还依稀可见。

基于农耕文明的宗教的出现

人类社会过渡到农耕体系就需要新型的社会行为规范。比如，早期的农民已不再像更早的采集狩猎者一样把获得的所有食物都消费掉，因为在下一个收获季到来之前就吃掉种子或用尽食粮会带来灾难。此外，农民们还需调整自己的劳动节奏，以适应农业周期，包括播种、除草和收获。但这样做就要求发明出确定农时的适当方法，于是就有了依照天体运行——如太阳、月亮和较突出的其他星座，如昴宿星（Pleiades）——编定的周期性历法。很可能就是这样，早期的农业社会开始定义了最初的时间观念。[28]

畜牧业要获得成功也需牧民制定出新的自律规范。新兴的牧民还要学会管理不断增加的牲畜群，而不是随意屠宰。因此，他们也需要新的远见并培养纪律意识。这种行为规范不是与生俱来的，必须逐步学会。与此同时，早期的农耕者也抛弃了此前采集狩猎者的行为规范。

德国社会学家诺伯特·埃利亚斯曾强调指出，要学会某种形式的自律，就必须同时加强来自外界他者的约束。埃利亚斯举例说，农业社会的行为规范是正在形成中的农民领袖借助宗教信仰和习俗灌输给农民的，这样，就为解决上述问题提供了有约束力的解决方案。这一假说可以说明早期农业社会的领袖为何多是强大的牧首（priest-chiefs）的缘故。由此推测，这些农民领袖可能是从更早的“巫师”或“萨满”演变而来。[29]

并非所有的早期农民都需要祭司预言或强迫行为。至石器时代，聪颖且善于观察的农民就能够准确预测季节的更迭，他们对大自然的方方面面都悉心观察，包括太阳和主要星座周而复始的轨迹、植物的花开花落、动物的出没规律和行为习惯、雨季的肇始与终结等待，甚至至今依然如是。基于这种观察，天才的农夫完全可能自觉地规范自身行为，而根本不需要祭司的干预。

不过，依据诺伯特·埃利亚及紧随其后的约翰·古德斯布洛姆的观点，要实现农业和畜牧业的成功发展，就必须有相当数量的人成功合作，包括那些也许不是很有才华的人，以及那些只想搭顺风车者。显然，有效解决这些问题对所有参与者都是有益的。这也正说明了为何有牧首的早期农业社会往往比没有牧首领导的社会更成功。如果大多数甚至所有的牧首都是男性，也就不难猜测这些人对男权主导的公域世界的形成产生了何等重大影响。[30]

很有可能的是，基于农耕文明的宗教常以“超自然力”（supernatural nature）的语汇传达出来，[31]其中包括大地上的各种神灵，如大地母亲（Earth mother），各类山神，各种风神，雷鸣闪电之神，太阳神、月神、星宿、星座，等等。如同更早的采集狩猎者一样，早期的农民也相信自然界充满了超自然力。这一点并不难理解，毕竟时人对周围自然环境有强烈的依赖感，而后者有时又那么地不确定。这种具自然主义倾向的宗教至今仍在自给自足的广大农牧民中间盛行。借助这种宗教表达和习俗，现代农民仍可以解决日常生活中无法用寻常手段解决的问题。虽然我们可能永远也无法证明这一结论，但我们有理由相信，这类宗教是向农耕体系过渡时期最终成形的。[32]基于农耕文明的宗教与更早的采集狩猎时代的宗教有一个重大区别，就是前者的组织程度要高得多。

颇值得注意的是，坐落于现今土耳其的已知最早的人类遗址哥贝克力石阵（Göbekli Tepe）大约是在11,500年前建造的。我们至今还不清楚最初的建造者究竟出于什么样的目的才构建如此宏大的建筑物——这很有可能是世界上最古老的庙宇，他们可能在这里上演繁复的宗教仪式，而这正是人类向农业社会过渡的最初时刻。

不断提升的农耕体系复杂度与未被驯服的外界复杂度的降低

农业革命的一个主要结果是人口的大幅增长。早期农牧民的数量迅速增加，且彼此居住的地方比以往任何时候都更近。换言之，农业社会变得更复杂了。[33]伴随人口增加压力的加大，农耕体系扩展到此前采集狩猎者占据的多个地域，之所以能够如此是因为农耕体系比采集狩猎体系强大得多。还有，很多情况下，采集狩猎体系也逐渐接受了农耕体系新技术。[34]基于此，人类之网变得愈发复杂和紧密，观念、物品能够跨越很长的距离迅速传播，造成集体知识的加速发展。与此同时，农牧民的采集狩猎技术出现了式微，后者可算是一种文化遗忘。

如前所述，早期农民需要建立新式的复杂实体，包括住房、储藏场所、陶器和农业工具，所有这些都是已知宇宙中以前从未有过的。换言之，随着农业的兴起，“茶杯时代”（age of the teacup）自然也就开始了。财产变得愈发重要，尤其是比较珍贵的物品，如珠宝和带纪念碑的坟墓，后者的作用是说明人与人是不同的。当然，精心制作的燧石工具在采集狩猎时代已经起到了这种作用。但相对于农民，采集狩猎者通常只有很少的实物积蓄。构建新的复杂实体需要新技能和更加多样化的工具箱。由此引发了劳动的分工，特别擅长制造此类器物的人成了兼职专家。但这种新兴的熟练工匠还需首先靠农耕谋生，甚至到今天还依然如是，尤其是在基本自给自足的农业社会。[35]

由于生产的复杂实体不断增多，早期农民制造的熵也越来越多。大多数游牧的采集狩猎者在某个居住地变得特别脏乱的时候自然可搬到别处，但对早期农民而言，这已不再是一个可行的选项。[36]我们不知道古代农民究竟是如何解决这些问题的，但相当早的时候就能生产出的发酵饮料（酒在当时可能是日常饮品）却解决了水源熵污染的问题，这是因为当时人畜都在一起生活，粪便到处都是。

因此，许多早期的农民一生大部分时间都会喝很多酒。时至今日，这种酒的消费模式在世界各地的农民中间依然清晰可见，这一传统其实可追溯到早期人畜聚居、水源常遭污染的时代。因为在过去一万年的时间里，农民的数量稳居多数，所以大多数人事实上每天都处于酒文化的

熏陶中。当然，游牧民族不可能每天生产和消费酒精饮料，而且喝了酒再去骑马和追牛也不会有很好的效果，也许正因如此，游牧部落针对饮酒制定了严厉的惩罚措施。相比之下，生活在草原上的牧民通常不须在住所或生产工具上进行太大的投入，因为他们要逐牲畜和水草而居。鉴于这种生活方式，牧民也不大担心产出太多的熵，因为某个地方过于脏乱的话，他们尽可以一走了之。

伴随农业社会复杂性的提升，处于人类控制之下的生态系统则渐趋简单化。这是因为人类总试图通过业已驯化的动植物集中捕捉和收获太阳能，虽然农田要比未经开垦的生态体系捕捉太阳能的效率低得多。但从人类自身的角度视之，农田的效率还是要高很多，因为更多的动植物可以在这里集中蓄养和消费。[37]同理，牧民在草原上集中蓄养大批的驯化动物也是试图通过简化生态提高草原的产出率，在此过程中不大有用的野生物种被逐渐边缘化。人类不能直接消化草，因为人的肠道比较小，但人却可以食用蓄养动物的肉、喝动物产的奶，同时还可用兽皮、羊毛和骨头做许多东西，从武器到衣服和帐篷。

农业的出现必然导致大量野生动植物收获的物质和能流减少。因此，野生动植物被排挤到农牧民不能去或不愿去的越来越边缘的地方。[38]结果，目前的情况是，驯化物种的数量比以往任何时候都要多，许多较大的野生动植物能够活下来只是因为人类采取了保护措施，要么是在自然保护区，要么是在动物园。然而，并非所有野生物种都因农业而遭受损失。例如，谷物的培植养活了越来越多的老鼠，反过来，老鼠也被越来越多的猛禽所捕食。而人类也因保护庄稼免受啮齿动物侵害的需要，将猫引进了农耕体系。

新近驯化的动植物大量集中，也为寄生的微生物创造了相应的金凤花条件。因此，动植物疾病变得更加频繁。由于人类和培植植物之间的遗传和生理差异很大，植物害虫通常无法直接侵害人类。但许多动物病毒却能成功做到。因此，人与家畜日益增多的频繁接触使得很多动物的疾病传染到人类身上，而反过来，这又刺激了人类不断治愈人与动物身上的各种新疾病。于是就出现了人与动物医学。[39]

虽然农业成为人类从大自然中提取太阳能的主要方式，但具备农耕体系所必需金凤花条件的区域较之采集狩猎时代在地理上要局限得多。最为突出的是，适宜的温度和充足的水源对确保农耕的成功至关重要。即使到了今天，农业扩张的规模也远没有超过采集狩猎时代横跨整个地球的大陆块。此外，海洋迄今仍是采集和狩猎者的天堂。

目前我们还没有能力计算农耕体系创造出的各种新式复杂实体的功

率密度，主要是因为缺少必要的数据。而事实上，朝这方面的任何努力均构成全新的研究课题。据我所知，唯一估算过人类史上人均能使用量的是美国地质学家和能源专家厄尔·弗格森·库克（Earl Ferguson Cook，1920—1983）。他在1971出版的一篇关于工业社会能流的文章中公布了这些数字。非常有趣的是，他的估算触及根本也相当初步，却似乎是唯一的有关人类史上能源使用的一般数据。I. G.西蒙斯和约翰·本内特（John Bennett）都是常被人引用的作者，但其对人类史上能使用量的分析差不多全部依据库克的数据。[40]

根据库克的研究，采集狩猎者可能人均消耗120瓦的食品，另加人均80瓦源自取暖和做饭用火的“家用及交往贸易”。早期农民人均饮食消耗约160瓦，而“家用、交往贸易、农耕、实业”消耗增至人均320瓦。这一增加主要是因为利用了动物肌肉的力量。更“高级阶段”的农牧民人均消耗240瓦的粮食，人均约480瓦的“家用及交往贸易”，人均约280瓦的“农耕与实业”及人均40瓦的“运输”。但所有这些数字还只是初步估算，故此提醒读者谨慎使用。

虽然农业社会在收获物质和能量方面比采集狩猎阶段要好得多，但并非所有的早期农民都富了起来。很有可能的是，“普通”农民甚至要获得满足自身所需的能量都经常会遇到问题。农民消耗的卡路里总量确实有所上升，但同时他们需要吃更多的东西，因为此时不得不付出更多的体力劳动。因此，收获来的粮食可能总体都不够用。此外，与采集狩猎者相比，农民获得营养丰富的野生食物资源可能更为有限，如水果和浆果，后者为身体提供重要的维生素。

诺贝特·埃利亚斯论相互依赖与文明的进程

人类社会由个体人组成，且彼此不完全受制于他者，我们该如何理解此间的社会动力系统呢？为解此难题，德国社会学家诺伯特·埃利亚斯（Norbert Elias，1897—1990）主张，我们必须用相互依赖的概念对人类社会进行系统研究。所谓相互依赖关系，就是权力与影响要达成平衡。虽然人们获取权力的机会并不平等，但所有的人在大多数时候都是有一定权力的，因之就能够对其他人的行为产生一定的影响。埃利亚斯将这种相互依赖的人群称为“构造”（figurations）。

下一步，埃利亚斯又指出，构造的特性在很大程度上决定了在当前环境下人们会怎样做，或至少应该怎样做。当然，在人类史

上，当事者总会千方百计朝对自己有利的方向改造上述构造，而这又取决于其自身的权力状况，包括是否聪明睿智，这样，人们改造构造的机会就因人而异。但有一点：凡人都无法全面控制上述构造。

埃利亚斯在其巨著《文明的进程》（*The Cirilizing Process*）中对其社会学思路进行了深入阐释。该书1939年以德文发表。在书中，埃利亚斯以当时大量有关礼仪的书刊为据，详细分析了中世纪法国社会上层行为的变迁，从中世纪盛期（约始于公元1000年）一直到法国路易十四时代（1643—1715）。虽然中世纪的骑士往往举止粗鲁，但法国宫廷却仪礼昭昭，表现出一种愈发精致的趋向。

在埃利亚斯看来，这一趋势与变化中的社会状况有关。在中世纪盛期，有大批相对独立的骑士彼此混战，但随着时间的推移，这种消耗战的结果是最终只有一个胜利者，即法国国王，而其他的骑士则被解除武装，成了国王治下的贵族。作为其部分义务，贵族要常出席正在形成中的宫廷聚会。因此，此时的贵族不再比拼武艺，而竞相攀比谁的举止最儒雅，甚至愈来愈多地表现出富有远见。埃利亚斯将这一过程称作“文明的进程”（civilizing process）。渐渐地，这种行为模式被正在形成中的中产阶级所采纳。

上面简短的总结难免挂一漏万，比如除此，埃利亚斯在《文明的进程》等著述中还谈到，人的行为伴随时间的推移可能还会变得粗鲁，而这取决于权力的结构和彼此的依赖关系。但还有一点非常重要，即我们实际上无法直接观察到人们彼此之间的依赖关系以及权力的平衡，因为这只是一种理论构架，能够帮我们解析实际观察到的各种现象，也即人的行为举止。

埃利亚斯倡导的社会学研究思路为我们研究人类史提供了很好的分析框架。但要更有效地分析，我们还需拓宽视野，至少增加如下两点。首先，我们考察人的行为，不能只盯着人与人之间的关系，还要同时考虑人与自然的关系。其次，我们要更全面地考察人的行为，而不限于某个群体，就是说还要看此一群体的行为对其他人会产生什么样的影响。比如，路易十四治下凡尔赛的法国宫廷尽管彬彬有礼，但这位“太阳王”却毫不迟疑地下令焚毁莱茵河沿岸的多座德国城市，包括1689年焚毁斯派尔（Speyer）和沃尔姆斯（Worms），作为其焦土政策的一部分。这种行为显然不是很文明，原因是他的军队此时正在这一地区发动战争。

在此，我们可引入体系概念重新审视上述行为，这里的理论问

题也就迎刃而解了。这里的体系意思是部分重叠的相互依赖格局。在凡尔赛，自然是彬彬有礼的宫廷体系居主导，而作为其战争依赖行为的一部分，路易十四还同时建构了一种粗鲁的、规模更大的战争体系。仅此两例，就足以说明人类史上不同行为体系的多种多样。

把社会视作由多个相互依赖的人组成的多种体系，各有一定的技能、各有其独特的习得来的行为模式，我们就会看到人类史研究的总体框架兀然涌现。这样一种范式可与大历史的其他主要范式天衣无缝地结合起来，如生物学中的自然选择（包括所有生命形式之间的相互依存关系）、地质学中的板块构造学说和大爆炸宇宙学。

早期国家的形成

迄今6,000年至5,000年间，全世界的总人口已增至2,500万至5,000万，此时，最初的国家出现了。有的社会不过5,000人上下，但也同样出现了明显的社会分化，且能制造出史无前例的各种复杂实体。这种进展在埃及、美索不达米亚和南美太平洋沿岸地区尤为明显。此后不久，印度河流域（约4,500年前）、中国（约4,000年前）及中美洲地区（约3,500年前）也出现了国家。国家的形成可能要归功于这样一个事实，即原则上，新的农耕生活方式已能够产出足够多的物质和能量。然而，最初的国家并不是在农业社会诞生后立即出现的。与此正相反，在长达数千年的时间里，全球各地一直星罗棋布着无数个规模不大、相对独立且不受任何外界控制的自治的村庄。显然，农业是国家形成的一个重要先决条件，但却不是其形成的直接和根本的原因。

从社会学角度看来，国家就是行使两种垄断权的大型社会。依据德国社会学家马克斯·韦伯（Max Weber）的观念，国家最重要的垄断权是有权使用暴力以维持社会秩序。国家行使的第二种垄断权，依据诺伯特·埃利亚斯所言，是有权征税。缺少了两者之中的任何一种，国家就将崩溃。当然，这两种垄断权不是凭空一蹴而就的，而是有一个长时期历史演变的过程。虽然垄断权也不是绝对就能做到，或不存争议，但只有在这两种垄断权都足够强劲有力时，政府才能够维持下去。[41]

上述两种垄断权之所以涌现，是因为人类业已开始系统地将他人当作物质和能量加以利用，而且在此过程中，为这种体制创造合宜的条件。为争夺人的资源，人类创造出多种新式的复杂实体，国家即为其中的一种，其特征是形成愈发紧密的相互依赖网络。这一进展继而导致一种新型的路径依赖，因为由此获益者很难或根本不再可能脱离国家而生存下去。显然，要取得并维持国家层面的复杂性，其成本也不能高于收益，至少对那些享有社会权力者肯定如是。而经过过去5,000年的历史洗礼，国家已成为相当富有活力的社会架构。准确地说，在历史的某个节点，确有众多国家轰然解体，但不久之后，通常在原地，国家会再度涌现。久而久之，涌现出的国家自然要比解体的多。结果，国家统治的形式至今已传遍全球，几乎已不存在没有国家统治的哪个角落了。

在传统的历史叙事中，国家的出现通常被冠之以“文明兴起”（rise

of civilizations）之类的美誉。然而，长久以来，能够享受这种文化成就的人却只是少数，通常不超过总人口的10%。在所有国家，直到工业革命之前，其余90%的民众都是农民，国家要不断地从周围的环境中求得必需的物质和能量。农民提供了国家运转所需的能量，但自身从国家中获得的收益却甚微。国家精英可能保护农民不受外国人的侵害，但后者为此付出的代价是必须缴纳沉重的赋税。

在某些方面，早期国家可能更像是生物界的一种共生（symbiosis）关系，就是说所有的生物体都参与会产生一种互惠的关系。不过更常见的情况是，国家社会内部成员之间互换的平衡相当不平等。随着时间的推移，剥削农民的人往往认为，最好是在政策上让他们仅能维持生计，而不让他们保留任何剩余产品。此外，不时的歉收、战争、虫害和疾病，以及赤裸裸的掠夺，都会使农民陷入更悲惨的生活境地。[42]因为农民被绑缚在土地上，所以他们通常都逃不出这一境遇。

在大历史中，非常简单的提取能量的一般过程常以不同形式反复出现。农业兴起时的社会分工颇似复杂细胞出现时的分工，同理，早期国家的形成过程很像是捕食者出现后生物体系的变迁。那时候，生物界的食物金字塔开始由大量收获太阳能及部分地热能的植物和微生物组成，而这些植物和微生物又为少数有特权的物种提供食物，也就是后者的口中食。同样，农民在不断提取太阳能的时候，却有一小部分人在直接或间接地转移他们的资源以为己用，虽然他们给农民的回报是什么并不总是很清楚。这样，一种社会性的食物金字塔就形成了，其中一小部分人在收集其他更多人生产出的资源（食物、劳动及其他形式的人工复杂实体）。

从相对独立的农民社群过渡到早期国家，这一切并非是在短时期一蹴而就的。伴随时间的推移，人口压力逐步加大，资源利用也逐渐加深，于是出现了酋邦。在此阶段，地方强人能够统领更大的联盟，特别是在战争时期，但也包括大型的社交聚会。酋邦制是这一过渡期典型的组织模式，当地的头人会大摆筵宴，相当多的产品被集中到一个核心地带，强悍的头人往往大张旗鼓地为其追随者重新分配财物。但随着地方酋长权力的增长，他们就有能力把更多的物质和能量留作己用。这样一来，税收的垄断就出现了。为控制新近产出的盈余及当地的生产者，地方强人往往会组织武装团伙，为需要的人提供保护，条件是必须提交一部分物质和能量。而这正是合法使用暴力垄断权的开端。总之，剩余产品的出现标志着能流总量的增加，使社会复杂性的提升成为可能。

农产品和种子都有必要储存到下一个季节，如何成功做到这一点也

可能有助于国家的形成进程，尤其是当地头人要在其治下的核心地带建立中央仓储的情况下。头人不时地就要把一些物质和能量储藏起来。如果他们有足够的权力把自己的愿望化作现实，就有可能促成税收和暴力的垄断。

要成功做到这一点，所有条件都必须“恰到好处”。美国考古学家罗伯特·卡内罗（Robert Carneiro，1927— ）1970年曾精准地指出，早期所有的国家都是在具备特定金凤花条件的区域涌现的，即肥沃的河谷地区，周围是人几乎无法居住的地带，多为沙漠。用卡内罗的话说，周围地带“在生态环境上多受限制”（ecologically circumscribed）。在肥沃的河谷地区，收获物质和能量相对更容易，而周围沙漠地带的生存概率相当有限。结果，在山谷中务农的人就比其他地区的人受到更大的限制，因为他们还被大沙漠包围着。时间既久，这种生态状况就使得强人更容易支配弱势群体。近来，卡内罗还特别强调资源集中的因素在这一过程中也有重要因素。也就是说，有丰富的资源可供利用，如肥沃的河谷地区，就更容易吸引人来而成为定居点，而周围的贫困地带人口通常要少得多。[43]

有助于早期国家形成的生态变化还有许多。最后一季冰川结束后海水上涨了约120米，人们被迫向上游转移，尤其是在美索不达米亚地区，但在某种程度上也影响了尼罗河谷及南美的太平洋沿岸地区。[44]此外，早期国家是在全球温度相对较高的一个时间段涌现的，即所谓的全新世适宜期（Holocene optimum），这在很大程度上加剧了上述的生态限制。加之在北半球，肥沃河谷地带受米兰科维奇循环带来气候变化的影响也开始雨量减少。这一点同样加剧了生态环境的限制，却有助于外来人口的迁入及早期国家的形成。加强灌溉以促进农业生产的需求进一步强化了中央集权的控制，因为要有效实现大规模治水就必须有一个总体组织，能够有效地协调或压制地方和区域的竞争对手。

所有的早期国家都是在亚热带山区涌现的，那里的农业在几千年前就已经开始了。显然，靠近早期动植物驯化的中心地带是早期国家形成的重要前提。然而，丘陵山地本身却几乎从来不是早期国家的核心地带。事实上，直到今天，这些地区都处于中央政府的有效控制范围之外，因为军队和官僚都很难在这样的生态条件下运作，这些地方反倒更适合游击战。

在欧亚大陆地区，国家的形成开始得更早，而且其发展的程度也比新世界高得多。这是因为欧亚大陆可供驯化的动植物资源更丰富，所以这里的农业见证了无与伦比的开端。此外，在欧亚大陆的大平原上，远

距离交换各种各样的物品及大规模军事行动的展开都相对更容易，这都有助于维持其领先地位。

从超然的角度视之，新兴国家与邻国之间的互动可被看作是多个复杂适应体系在不间断地相互作用，有时试图彻底毁灭邻国，而有时邻国被彻底驯服了。历史上虽有许多国家业已崩溃，但其作为社会实体却从未完全消失。恰恰相反，尽管有跌宕起伏，但“国家化”（statification）的进程却从未停止过，且一直持续至今，以至于到今日整个地球上几乎没有任何一块地盘不从属于国家，至少在陆地上是这样。显然，国家是相当有活力的社会体系。

早期国家靠暴力得来的剩余产品创造出一种新的能流，于是就有可能生产更高复杂度的社会和物质产品。在早期国家，这种新获取的大量物质和能量被用于投资兴建各种新奇的建筑，比如美索不达米亚的金字形神庙（ziggurats）、埃及的金字塔（pyramids）、秘鲁被称作瓦卡斯（huacas）的众多寺庙，等等。欧洲包括巨石阵（Stonehenge）在内的巨石结构也属于此类发展，虽然后者的建筑据说是更早的酋邦而不是后来的早期国家建立的。宗教和象征权力的巨型建筑都属于早期国家社会的显著特征。

很有可能的是，除了服务于农业的需求之外，新兴国家的宗教往往还致力于在居民之间培育社会凝聚力并为统治者的地位赋予合法性。[45]但这样做的结果，是出现了地方与国家层面宗教需求和约束的分化。根基尚不稳定的统治者迫切需要保住自己的地位并使新兴国家团结稳定，落实到实际行动中就是用宗教约束地方强势派的作为。大多数甚至所有早期国家的宗教都采用了超自然力的套路，统治者被描绘成太阳和月亮的后裔。作为其中的一部分，早期国家的宗教遂成为公共崇拜的主要形式，但既有的农业宗教信仰在地方层面仍发挥重要作用，因为后者还能满足地方的需要。这种对国家宗教和大众宗教的分化将伴随着社会生活的日益分化，成为一个公共的、男性主导的领域和一个男女共同发挥作用的私人领域。国家宗教与民间宗教的分野就这样形成了，随之而来的是社会生活也分化成男性主导的公共领域及两性均有作为的私人领域。

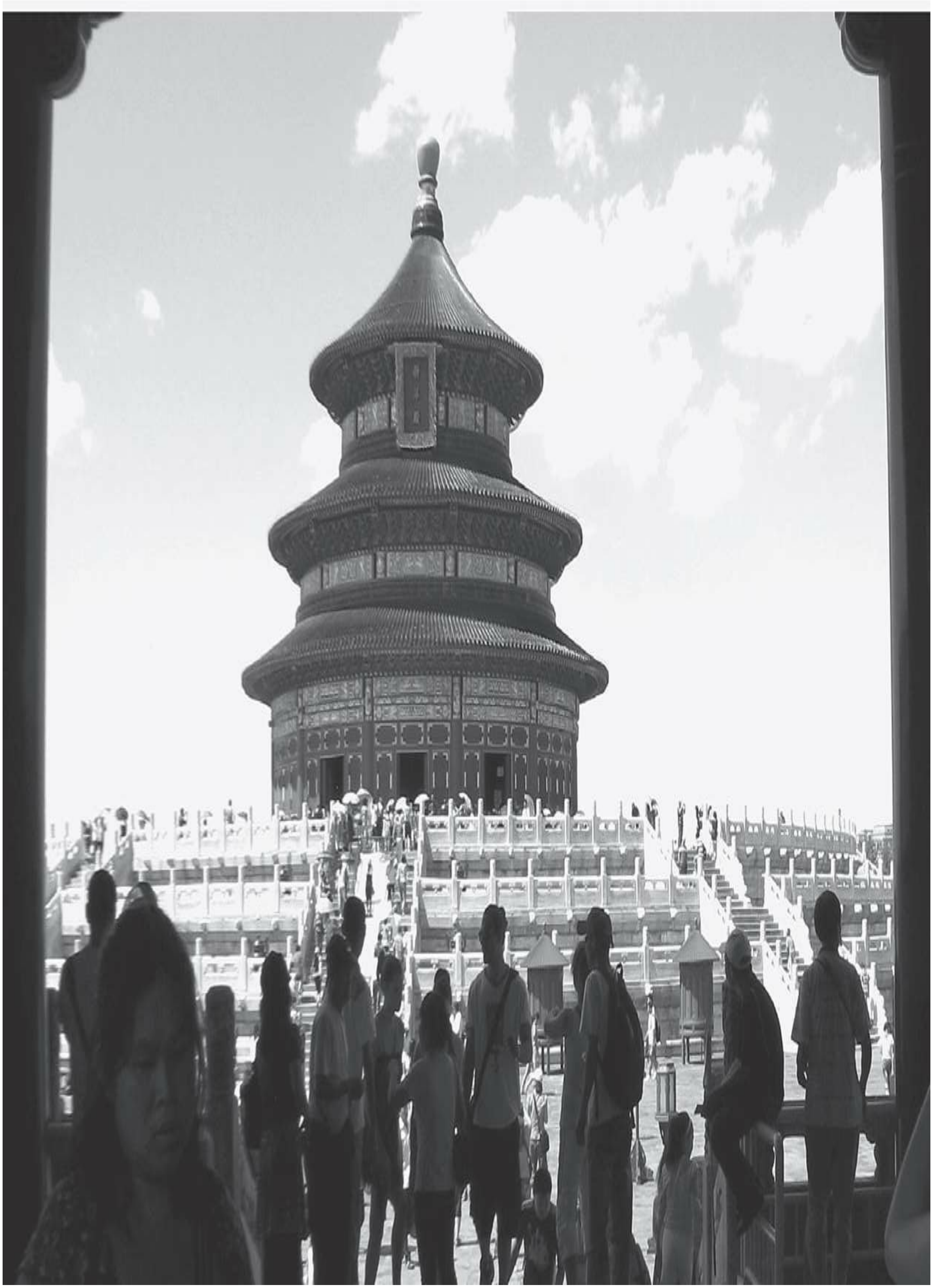


图7.2 这是否是早期国家形成时期留下的宗教政治遗迹呢？中国北京的天坛（坛字本义为祭坛），明清两朝的皇帝每年会在这里参加祈丰仪式（由本书作者2011年拍摄）

大国的出现

国家的出现作为一种创新继而导致了大规模的文化适应辐射。早期国家在生态条件受限的河谷地区产生后仅1,000年内，国家在其他地方也开始出现了，很显然，这些地方都出现了较大规模的人口增长，且具备国家形成的金凤花生态条件。其间虽有起伏跌宕，但长期的发展趋势是国家社会在全球广泛传播，独立的农耕社群及采集狩猎者纷纷式微，后者大多被边缘化，甚至消失了。确切地说，凡有足够破坏力的大型部落社会——蒙古人可谓最恰切的例证，仍有实力战胜农业国家，但入侵者若想继续掌权的话，却根本无法一方面既保留其部落行为模式又能长久维持其对农业国家的统治。征服者若要巩固自身的权力，就必须采纳被征服复杂社会的生活方式。

大国变得愈发规模庞大且日益复杂，超过了以往的任何人为复杂实体。虽然不同国家在具体细节上有诸多不同，但在一般原理上却颇为相似，都是由军队、官僚机构、道路及其他交通通信系统组成，说明各地精英面对的问题大同小异，提出的解决方案也颇多雷同。比较著名的例子在旧世界有罗马帝国、中华帝国以及规模最大的蒙古帝国，在新世界有位于今天墨西哥的玛雅帝国和阿兹特克帝国、位于南美太平洋沿岸地区的契姆帝国（Chimú）及位于秘鲁安第斯山脉地区的瓦里帝国（Huari）和印加帝国。

大国的出现促进了思想、人员和物品在更大范围的交流。其中不乏长途贩运的象征身份地位的物品，如宝石、丝绸，当然也有大宗日用消费品，如谷物和葡萄酒等，颇为有利的是，此时已经有了货船运输。由于这种互动的不断增多，欧亚非大陆的人类之网变得越来越复杂。类似的过程在美洲也有发生，虽然后者的步伐要慢一些，而在大洋洲则根本没有国家出现。然而，即使在世界的这一部分，人类之网也朝更复杂的方向发展，这是因为大无畏的远洋航海者足迹遍及整个太平洋，终于导致了大多数岛屿被殖民。在太平洋上的岛屿如夏威夷群岛，欧洲探险家一落脚，酋邦就出现了。显然，夏威夷群岛周围浩瀚的海域为国家的出现提供了足够的生态限制。

大约在迄今4,000年至500年间，全球各地的人们都能更好地适应周围的环境了，也能在某种程度上改造环境，以使自己的生活变得更惬

意。然而，变幻莫测的大自然仍对人类行为施加着重大影响，恰如美国考古学家布莱恩·费根（Brian Fagan）强调的那样，包括在尤卡坦（Yucatán），一场严重的干旱曾致使玛雅诸国走向衰微。[46]荷兰气候学家巴斯·范加尔（Bas van Geel，1947— ）曾提到过一个全球气候变化影响社会发展的有趣的例子，当时他正领导一个荷兰和俄罗斯的研究团队从事相关科研。据称，太阳活动在公元前850年左右曾出现下降，随后出现的湿润生态条件造成荷兰西北部的生活条件急剧恶化，而与此同时，东部亚洲地区骑马的斯基台人也出现急剧扩张的态势，后者是因为湿润的气候为欧亚大草原的动物提供了更多的食物。当然，这里的少许例证只是历史大势的冰山一角，虽然针对这一人类史的主题目前的研究还相对较少，即变化中的生态条件决定了人类社会发展可能企及的复杂程度。[47]

国家社会发明或改进了许多技术，如金属加工、纺织和制陶、建筑、航运和战争等。然而，这些都只是在决定着物质和能量获取的生态条件没有发生重大变化的情况下。所以，所有传统国家都是由农民捕获的可再生的太阳能驱动的。也许此间最具革命性的发明是统治者控制平民所需的新的军事技术和社会技能，以及针对外部世界的防卫和进攻。这就使得新的社会组织形式，如军队和官僚机构，变得特别有必要。

作为帝国建立过程的一部分，此时就发明了更有效的交通和通信手段，如供军队、接力信使、税官及官僚使用的长距公路和运河，以及许多其他形式的利用声音和视角信号——包括火、烟和击鼓——的长距离信息传输设施。与此同时，从事贩运者、孤独的流浪者、传教士和商人也都在利用这种新的交通通信线路。[48]连接不同国家的道路、河流和海洋也被愈加频繁地使用。所有这一切导致了物品和信息交换的日趋加速，强化了集体知识过程的正反馈回路，而集体遗忘的过程则有所减缓。

道德宗教的出现

在旧世界，国家中心很快就发展成了大城市。比如在美索不达米亚，迄今6,000年至5,000年前就诞生了最初的城市（当然这要看人们是怎么界定城市的）。很快地，越来越多的人开始在城市中生活，要么靠制造复杂实体，要么通过贩运这类东西求得生存。对这种正在兴起的第二等级而言，要生存就必须在相互依赖中求取物质和能量，而与在大自然中求取生存的生产生活方式则渐行渐远。许多城市人从事交易是在扩大的家庭网络中进行，直至今日仍有不少人还在这样做。但随着城市规模的不断扩大，自然有越来越多的人彼此不再熟识了，此时就产生了道德指南的需求，即有必要规定人与人之间该如何行事。

此时的国家精英们已开始以立法的形式规定哪些是合宜的行为方式，开始利用国家宗教或通过官僚体系试图打造包罗万象的国家认同。英裔美籍社会科学家本尼迪克特·安德森（Benedict Anderson）称这种努力想要达到的目标为“想象的共同体”，因为这些人虽然彼此不认识却感到某种共有的认同。[49]在大多数传统国家内部，最重要的身份认同是宗教及象征性的亲缘关系，神灵、国王和王后常被描述为民众之“父母”。

但尽管如此，仍有不少城市人在如何对待陌生人的问题上感到不是很确定，而当时社会彼此不相识的陌生人却多得是。这种不确定的感觉导致了新的宗教需求，并进而产生了新的宗教，其中的道德指南变得愈发重要，尤其针对如何对待陌生人的问题。这种倾向在正在成长中的武装力量中间也同样显露端倪。结果，新的道德宗教往往以接受神启者（通常没有女人，这也是公共领域由男性主导的结果）发布教义的形式出现。在这种新兴的宗教教义中，有关人与自然之间关系问题的地位急剧下降。基督教、伊斯兰教、印度教（只是在一定程度上，因为印度教属于道德宗教与早期国家宗教的混搭）和佛教都是在这一氛围中形成的，而在中国，孔子的道德训诫也大同小异，只是没有借助超自然力的话语。

一旦大批的城市居民都皈依了这样的宗教，国家精英自然就会感觉到借助宗教体系实施统治的好处。就这样，道德宗教成了国教，并趋于垄断公共崇拜及各种庆典，当然纯属私人的崇拜和庆典除外。因此，宗教需求的模式和约束再度发生转移。比如，许多统治者开始利用新的道

德意味十足的国教为自身的权力赋予合法性，而作为交换，新的国家祭司们通常也都乐意由此换得一定数量的物质和能量。

向国教的过渡导致了对宗教正统的重新界定，首先当然是要服务统治精英的需求。但这种新的宗教观点往往与各基层地方的宗教需求发生抵牾，尤其是农民的宗教需求。由此，在城市道德宗教与地方农民宗教之间产生了重大差异，因为后者的生产生活方式与周围自然环境直接相关，所以在宗教需求上更喜欢“超自然力”的表达，渴望有太阳神和月亮女神、大地母亲和山神。这往往会导致道德国教与农民宗教之间的紧张关系，在很多地方甚至到今天依然如是，比如安第斯山脉地区的秘鲁。在其各自的发展过程中，业已达成各式各样的宗教妥协，当然具体的妥协内容在很大程度上取决于城乡之间的权力格局与相互依赖关系，是否在当下能够达成平衡。

美洲最早城市的出现比欧亚大陆要晚得多，大约是在公元前100年前后，甚至到了1492年，彼此连接的美洲原住民的城市居民点也比欧亚大陆少得多，也松散得多。撒哈拉以南的非洲和大洋洲的情况也大致如此。因此，这些地方在欧洲人入侵新世界之前从未见道德宗教的涌现。因此，所有美洲原住民的宗教在欧洲征服之前都采用“超自然力”的话语体系。此类宗教当然也有关乎人与人之间行为规范的规定，以及为国家权力赋予合法性的说法，但这类规则总是通过“超自然力”获得合法性，而不是来自具有超自然力的个体人的教诲。新世界的这类规则与旧世界的新道德宗教截然不同，前者并不针对所有的人，无论他们具体生活在哪里。

道德行为的起源

> 18世纪，特别是在霍尔巴赫位于巴黎的文化沙龙，人们热衷探讨的问题是：在一个没有宗教的社会里如何保障人们有道德的行为，因为，缺少宗教，人们显然便失去了宗教中倡导的道德指南。霍尔巴赫在其《自然的体系》（*Systeme de la Nature*，1770）一书中给出的答案是：只要人们以恰切的方式追求幸福——不光考虑自己的长期幸福，还包括他人的长期幸福——那么和谐的社会将会自动形成。
>
> 我们无从验证霍尔巴赫的方案是否真确，因为迄今这一方案也没有被系统尝试过。可以肯定的是：人类社会早在几大世界性宗教出现之前便存在了，而且显然以这种或那种方式延续了下来。这就

令人联想到增进和平合作的道德行为可能有更久远的根源，而其宗教表达只不过是近期社会发展的结果。

因为道德准则可以被看作是界定成功合作的准则，所以从大历史的角度追溯道德行为的起源，我们就可以回溯到早期生命史的多种形式和历程。如上述第五章曾提到，早在30亿年前，叠层石就表现出已知的最古老的各种合作形式。这种大片的进行光合作用的蓝藻可能从很早就像现在这样，聚集在浅海的小块儿岩石上，这种最初形式的合作可能源自其增强自身生存概率的努力，就是要成团儿待在合适的位置，既有足够的光照，又有水浪带来的其他资源，还能让水浪涤除其自身产生的物质熵。一旦有资源竞争的介入，生物进化过程中的生存竞争压力就导致了新的合作形式，比如我们当今能够观察到的多个物种所采取的形式，从微生物到人类都莫不如此。

但合作的两种形式在本质上都是脆弱的，因为这取决于预期收益必须高于预期成本，尤其是在获取足够的物质和能量方面。一旦结果是负面，或被视作负面结果，那合作便终止了。不过只要条件合适，合作也可以相当稳定，上述叠层石能够历经30亿年的物竞天择而依然如故便是例证。

凡生物合作则必有交流以协调彼此的行为，其最初的交流可能就是借助于化学信号。随着时间的推移，生物组织发生了分化，体积也变大了，这会导致更为精致的合作与竞争形式，因此，其彼此间的协调和交流形式也会变得更精致。比如伴随动物迁移至陆地生活，动物幼崽得到了更多的关照，就是上述趋势的一个突出体现。而这种行为方式中的大多数做法，如果不是所有做法的话，都会被写入动物的基因。

而伴随脑容量更大也更聪明的动物的出现，除了上述的本能行为之外，还出现了借助集体知识制定成功的合作规则的做法。这种做法催生了更为复杂的神经系统，因为早期的硬件和新生的软件开始了彼此间更为精致的互动。由于人类发端于早期相对简单的脊椎动物，人类的大脑明显由三个层次组成：古老的爬行类动物内脑，主要以反射原理运行；包裹着内脑的哺乳类动物中脑，对情感有所反应；和中脑外部体积更大的新皮层，为现代人所独有且按文化软件运行。

因此，从基因上说，现代人的躯体内部有合作和竞争两种机制，而新皮层亦可强化这两种趋势。正因此，道德教育——无论是

宗教的还是其他形式的——可以发挥作用，就是把文化信息输入新皮层，以朝人们期待的发展方向迈进。

国家社会的能量与复杂性

尽管所有的国家都有各自不同的特点，但随着时间的推移，国家却开始呈现类似的特征，虽然彼此之间往往相距甚远，甚至毫无关联。显然，这是物质和能流及金凤花条件的内部动力造成了国家体系在需求与约束上的共性，本质上是面对共同的问题找到了共同的解决方案。作为发展的一部分，所有的国家都出现了等级社会，其中包括擅长人为复杂实体生产及贩运的中产阶级和作为统治者和祭司的社会上层，后者把控着重要的暴力手段和税收并利用宗教为自身的优势地位赋予合法性。

为维护自身的地位，所有国家的精英们都有军队及官僚组织作为强力支撑，后者尤其擅长借助各种记忆手段——从泥板文献到结绳记事不等——收集、采购、储存和传递信息。而在此前，大多数的文化信息只是存储在个人的大脑中。现在有了外部记录信息的创新，就有可能对更多的人及更大规模的物质、能源和人工复杂实体实施控制，但这一创新也为大规模散布假情报提供了机遇。

因为信息流的控制对强大的统治阶层来说是维持其所希冀的复杂性的必要条件，所以往往会花很大力气来实现信息流控制，包括严格限制信息流的定向管理，哪些信息只有特权阶层或专业团体才有权知道，什么时候使用密码传输，并同时发布各种类型的宣传信息等。然而，从长远看来，越来越多的人在全球范围内传播自己所做的文字已是不可避免的大势，这一点为社会复杂性带来了重大变化。

麦克尼尔父子在《人类之网》（2003）一书中曾指出，伴随人类历史的发展，人类储存并长距离、大批量传播信息的能力已大大提高，而同时费用却大幅降低。这一趋势发端于文字发明，后来又发明了印刷术，而最近又有了电子数据处理技术。结果，人类向他人学习的能力，以及操控他者、物质和能量的能力都得到大幅提升。同时，货物运输方面也出现了类似趋势，最初是人拉肩扛，后来渐次有了船只、驮畜、马车、越来越大的帆船、蒸汽火车和蒸汽船、汽车和卡车，以及最近的飞机和集装箱船。每一项新的发明都开辟了新的机会，货物运输的距离更远，而且成本在下降。上述两种趋势使得人类得以创造出更多的复杂实体。[50]因为创造更复杂的实体总是有代价的，所以人们只是自觉利润高于投资时才肯这样做。

分工不断细化、社会不平等不断加剧的后果是物质流和能流变得愈发复杂。我们先考察一下食物金字塔的顶端。此时的顶端由两个特有权势的精英阶层把持，即统治者和祭司。这些人的首要考虑是如何保证国家、宗教的稳定及自身权势不致旁落。所以，他们会千方百计把控重要的物质和能流，确保自身享有不菲的分成。在所有的国家社会，统治精英都毫无例外地蔑视农民，所以耕地务农和从事手工业劳动都是地位低下、声誉不佳的工作。地位等级愈来愈多地通过洁净与肮脏的观念表达出来，包括如何避免与肮脏的人接触。这一点在印度表现得最明显，在其他地方也有表现。甚至到今天，大多数人还是把耕地务农看作是地位低下的工种。

食物金字塔的底端由大量农民组成，通常还包括奴隶。正是这些人采集到的物资和能量支撑着整个国家的运行，但他们却总是两面受困，用威廉·麦克尼尔的话说，一面是小寄生虫——啮齿类动物、鸟类和昆虫——抢夺收成，另一面是大寄生虫（税吏）索要钱粮。[51]此外，战争与征服，诚如上文所述尤利乌斯·恺撒发起的征服高卢之战，常给农民带来深重灾难。参与抢劫的军队路过一地，往往会在身后留下成群的饥民，生活无以为继，甚至大批饿死，以至于士兵们一般都不会沿原路返回，因为那里已无可能再得到足够的补给。所以农民往往特别容易接受宗教观念，因为宗教总声称能够帮助世人在此世或彼世中减轻痛苦，这一点丝毫不足为奇。

新兴的社会第二等级大多生活在城市或城市边缘地带，虽也并不尽然。这一群人属于生产各种复杂实体的专家，从精美的陶器到宏伟的建筑不等。这群人中间包括很多默默无闻的英雄，有发明家、技师、匠人、建筑工人和建筑师、工程师和科学家，面对生活中的种种问题，他们是切实的解决者。美国科普作家里昂·斯普拉格·德·坎普（Lyon Sprague de Camp，1907—2000）在《古代的工程师》（*The Ancient Engineers*）一书中对这一群体的重要性有如下总结：[52]

> 工程师是这样一种人，他们得到别人的想法，然后将其付诸实施，以解决人类生活中的物质和能量问题。自从美索不达米亚人最初驯服了动物、培植出植物种子以后，古代的工程师们就一直致力解决诸如此类的各种问题。在此过程中，他们创造出了直至现在我们还在使用的各式各样、复杂精巧、大大小小的工具。
>
> 我们今天称之为文明的一切，事实上要归功于工程师们的奉献。数世纪以来，工程师们逐渐学会了利用物质的特性和多种来源

> 的能量，以为人类的福祉贡献力量。他们依靠理性的力量有组织地尝试利用周围的物质世界，因而设计出各种精巧便捷的器物，以增加人类生活的舒适度，只要比较一下人类祖先数千年以前的生活和我们现在的生活，其差别便昭然若揭。从某种意义上讲，文明的故事就是工程实施的故事，即通过长期和不懈的努力，使自然力服务于人类的福祉。

这是对工程师们相当积极正面的评价（其实工程师们还发明了不少具有毁灭能力的器物，德·坎普对此也有不少交代），作者是想强调正在兴起的专家人群的重要作用。工程师作为职业可能颇有利可图——虽然也有例外，但其地位却远没有统治者和祭司享有的威望。

在都市中心地带，上述发展导致了文化复杂性的不断提升。于是最初的大型建筑开始动工，且采取了金字塔的形状，其实这些大多是人为堆起来的假山。当时的建筑工程是典型的用人的力量和动物肌肉的力量对抗地心引力，由此创造出最早的“权力结构”（architecture of power）。从那时起，人类一直在建造这种类型的建筑。虽然近期的建筑变得更加复杂，但很久以来，建筑的高度并没有太多的增加。只有到了工业时代，更高的建筑才变得可能。但人类在建筑高度上取得最重大的突破却不是在近期，而是在早期国家形成的期间。在距今6,000年至5,000年间，建筑物的高度从最多不过10米一下子增长到约137米（埃及的胡夫金字塔），增长超过10倍以上。随着时间的推移，建筑物的形状也开始发生变化，从寺庙、宫殿到穷人的居所，而其内、外部的复杂度也越来越高。较小的人造物体，如茶杯，因其相比大型建筑不大受重力的影响，所以形状样式更是花样翻新、不断变化。从长时段一般的角度看，我们可将各种形式人工复杂实体的演变史理解为一系列的创新并由此造成众多文化适应辐射的过程。可以解释为一系列的创新导致了如此多的文化适应辐射适应辐射。

2003年，约瑟夫·坦特（Joseph Tainter，1949— ）及其合作者提出，大国依照其获取能源的方式可能有其特定的生命周期。大国征服新的领地，通常采取集中掠夺的方式实现收支平衡。在短时间内，这种集中掠夺却可创造大量的文化复杂性，但在初始阶段结束后，一旦出于后勤保障或地理原因，征服不再是现实可选项之时，国家精英们便开始再度依赖农业产生的税收过活，包括征收实物税和货币税。但这是一种低增益能的资源，加大税收压力往往会导致资源退化。结果，要保障税收就需付出更大的努力，而这又进一步损害了税收的根基。这种恶性循环

最终导致大国的崩溃。在很大程度上，这一机理可以很好地解释大多数甚至所有农业国家长期的发展脉络。

此外，新兴国家的农业基础越大，其在与他国斗争中所能利用的物质、能量和复杂性就越多，所以其胜算的把握就越大。这也正是罗马人能够战胜伊特鲁里亚人（Etruscans）、印加人能够战胜其多个对手的原因所在，简单说就是前者比后者的地盘更大、能够产出的更多。同理，国家的大小连同其工业基础的质量也可以部分解释后来类似争霸战争的结局。

比如，威廉·麦克尼尔在《欧洲史新论》（1974）一书中指出，欧洲西北部于公元1000年左右普及了铧式犁（moldboard plow），从而为城市诞生做好了准备，因为铧式犁使这一潮湿的亚热带地区也能实现播种和收获，从而极大地拓展了可供种植的区域。这一重要的太阳能收获支撑着中世纪城市的不断成长，包括由教区天主教堂开启的宏伟教堂的建设，以及武士精英建造的令人望而生畏的城堡。所有这一切都是由来自农民的赋税收入支付，因此，农民只好把土地开发推进到极限程度。主要由犹太人从事的长途贸易把来自地中海和中东——甚至印度和中国——的丝绸和宝石也带到了欧洲北部，此间的费用也是要农民的税收最终支付。2000年，英国世界史家鲍勃·莫尔对上述的“第一次欧洲革命”做了精彩描述。

城市环境不可避免地要产生大量的熵。依照北大西洋的现代标准，直到最近，城市一直是非常肮脏的地方。美国史学家刘易斯·芒福德（Lewis Mumford，1895—1990）在《历史上的城市》（*The City in History*）一书中对此曾有如下表述：[53]

> 数千年以来，居住在城市里的人不得不忍受着城市的各种缺陷，最突出的是相当恶劣的卫生条件，致使他们终日沉溺于垃圾和污物之中，虽然他们并不是没有能力清除掉。

美国垃圾学专家威廉·拉什杰（William Rathje，1945—2012）和美国作家卡伦·墨菲（Cullen Murphy，1952— ）对早期城市人处理熵的过程曾有过生动描述：[54]

> 考古学家布利根（C.W. Blegen）20世纪50年代曾挖掘过青铜时

代的特洛伊古城，他发现这里建筑物的楼层内会周期性地散落动物的骨头及其他一些物件，其脏乱之至，“连最不容易呕吐的家庭都会感觉必须做点什么了”。不过，布利根发现，这里的人通常“不会去清扫这骇人的堆积物，而是弄来一层新土均匀地铺在地上，把有毒的垃圾物盖住。在许多建筑内都有类似明显的分层，就这样直到楼层的地面快够到房顶了，再去把屋顶加高并把大门再加改造”。当然，这些建筑物最终必须整个拆除，而拆除的方法是把原有建筑的四面泥砖墙往里一推，就算是新的泥砖建筑的地基了。随着时间的推移，中东数座古老的城市在周围平原上的映衬下兀然跃起，被称为“台形土墩”（tells），里面包含着数个世纪甚至数千年前的遗迹。

1973年，美国土木工程师查尔斯·冈纳森（Charles Gunnerson，1920—2005）通过计算得出结论说，如果现代生活在曼哈顿岛的纽约人把垃圾均匀地撒在岛上而不是扔到别处，那么其每个世纪的垃圾累积率刚好与古特洛伊持平。[55]不过，诚如本例所示，后来出现了垃圾处理体系，可以用颇为有效的方式处理污垢，包括污水处理系统及将人畜粪便以有机肥形式的再回收利用。处理人造熵虽可能是有利可图的事业，但直至今天，却很少或从未被人当作体面的职业。

相对较脏的城市环境为众多传染病的传播提供了颇为优越的条件，所以，城市人的寿命预期长期以来都不是很高。也正因此，长久以来，城市都是靠周围乡下人的迁入维持一定的人口数量的。[56]因为许多城市与周边地区都有较好的衔接，所以流行病一经流行就可以传播至很远的地方，常为当地居民带来无尽的痛苦。但随着时间的推移，幸存者抵抗疾病的能力大大增强，这是非随机消除机制在发挥作用，社会中的弱者在这一过程中全被淘汰了。作为同一过程的一部分，许多致病的微生物慢慢变得不那么致命，从而演化成了儿童易染的疾病。相反，在新世界，几乎没有什么家养动物且城市的数量相对较少，交换的网络既少又不那么密集。结果，古代的美洲人没有发展出对上述传染病的免疫力，所以当欧亚大陆与美洲大陆最终建立起联系之时，许多美洲原住民死于欧亚大陆微生物的传染。

随着时间的推移，人们学会了更有效地利用水能和风能，后者往往是借助风力发电机。德·坎普认为：[57]

人类学会了利用水能和风能，就可以在更狭小的空间获得更强

大的能量，也就有能力轻松完成此前非常困难或根本不可能完成的事业。

与此同时，海员们学会了如何利用风向和水循环的能量，所以在海洋上航行的距离也就更远。

在某些地区，包括英国和中国，煤炭的开采变得异常重要；而在中亚，出于各种各样的目的，石油也被开采出来。荷兰科学家弗兰克·尼尔将这一进展称为“碳文化能量体系”（carbo-cultural energy regime）的开始。[58]不过直到工业革命以前，人们从自然环境中提取物质和能量并用之于生产的方式虽有很多，但其实变化都很小。

国有大小，但兴衰起落却属历史常态，有所发明自然为发明的掌控者带来权势和利益。[59]但要长久地垄断新发明的技术却是不可能的，结果，最终权势和利益还是均平化了。竞争是人类创造新式复杂实体的驱动力。火炮的发明正好可以说明这一点。假如某国军队装备了不同类型的火炮且变得异常强大，那么其他国家要么也采用这种新技术，要么就面临必然的失败。火炮技术当然是集中能量以达到毁灭对方为目的的。

第一波的全球化浪潮

大约500多年前，也就是从现在倒推地球绕太阳转了500多个圈儿的时候，人类史上的一个新阶段开始了，也就是哥伦布横跨大西洋触发的第一波全球化浪潮。截至那时，全世界的人口已经增至约5亿。第一波全球化浪潮之所以能够发生，是因为欧洲人学会了利用储存在风和洋流中的能量，所以能够扬帆远航，将自身及货物带到此前从未到过的异域他乡。欧洲人的技术和知识是从阿拉伯世界及亚洲等地学来的，但在更恶劣的西欧气候条件下不间断的海上航行中又得到了进一步发展。

在第一波全球化过程中，欧洲人开始乘全副武装的船只在七大洋（Seven Seas）上航行，在任何可能的地方寻找利润。在前后大约100年的时间里，欧洲的扩张导致西班牙和葡萄牙对美洲进行了大规模的殖民征服；世界海洋贸易路线也因之建立起来，其中包括欧洲主导的设在非洲和亚洲海岸的贸易站和生产中心；还有主要来自北欧人对北美洲东海岸的殖民。在个人有限的一生中围绕整个地球走上一圈，这在人类史上还是第一次。显然，这一次创造并维持全球复杂性的预期利润超过了投资成本。

上述事件导致世界三大主要区域最终连成一片，形成人类之网，其中，西欧突然间已不再身处欧亚大陆的边缘，反倒成为跨大西洋交流网络勃勃兴起的中心。[60]与此同时，活字印刷术被引进到西欧，于是在新兴的中产阶级中间引发了数据储存和交流的革命，这一点对上述进程也产生了极大的助力。这一创新还在集体知识过程中造成正反馈回路，从而加速了集体知识，减缓了文化遗忘的过程。[61]

欧洲扩张的一个主要而直接的诱因是土耳其15世纪的扩张，后者先是在1453年征服了君士坦丁堡，继而又导致奥斯曼帝国在欧亚陆路贸易中占据支配地位。这种格局造成贸易产品在西欧愈发昂贵，于是刺激后者在海外寻找新的贸易路线，在无意中发现了美洲。不过即使没有发生上述事件，横跨大西洋的密集接触也迟早会发生，以下事例足以说明这一点：早在1430年，来自巴斯克（Basque）地区的水手已到过纽芬兰岛沿岸捕鱼，而欧洲的水手们也发现大西洋还有其他的风流和水流可加利用，同样能够到达遥远的目的地。

伊比利亚人征服美洲标志着一个传统帝国最终建立，但这一次帝国横跨大洋的状况此前从未有过。16世纪期间，西班牙人和葡萄牙人都急于在美洲建立殖民地并为此不惜代价，而此时的西班牙哈布斯堡王朝则全力维护其在欧洲的产业。在西北欧，新兴的中产阶级，主要是商人和工匠，正好利用帝国扩张的大好形势脱离原有统治者的控制。

因此说，人类史由此步入了一个新阶段。此时，新的国家出现了，在很大程度上、甚至完全由商人和新工业精英统治的国家，首先是在乌得勒支七省联盟的荷兰，然后是大不列颠，其次是美国，随后在欧美被越来越多的国家竞相效仿。在所有这些国家中，新兴中产阶级都努力创造并维持对自身福祉有利的社会和物质条件，包括颁布私有财产保护法，制定相关贸易惯例、金融交易规范等。[62]这就是所谓资本主义诞生的过程。

从那以后，全球化进程在全世界范围都在加速。商人成为早期全球化的主角。相对于传统的精英和农民，商人的特点是他们没有被束缚在土地上。他们增加物质和能流的方式只能通过贸易。就这样，他们开始在世界各地贩运各种各样的农产品及高附加值的人工复杂实体，往往在短时期内——通常只有几年——就获利甚巨。

美国经济学家丹尼斯·弗林（Dennis Flynn，1945— ）及西班牙裔美国史学家阿图罗·希拉尔戴斯（Arturo Giráldez，1952— ）特别强调白银在全球化进程中曾发挥重要作用。全球化发展的早期，欧洲商人在与中国人进行贸易时除了白银之外，几乎没有什么东西可以拿来应付后者，因为中国人觉得自己已经应有尽有，根本不需要欧洲的产品。那时，明代中国在技术水平上可能是世界上最先进的，而且是当时地球上人口最密集的国家。中国人生产的许多东西在欧洲简直供不应求，尤其是茶叶、瓷器和丝绸。

明代中国花费了大量资源，用于建设紫禁城、加固长城等重大项目，而资金来源的一部分是加印大量纸币。结果毫不令人惊讶：中国发生了通货膨胀，给上海等沿海城市的商人带来了巨大的麻烦。因此，从15世纪中叶起，这些商人开始愈来愈多地以白银交易结算。公元1570年前后，经过约一个世纪的抵制，中国政府开始以商人为榜样，从此征收税银。

中国对白银的需求由是出现剧增，继而世界的这一地区就出现贵金属价格上涨的局面。而此时恰值美洲发现特大银矿山，先是1545年上秘鲁的波托西（今玻利维亚）地区，后有1548年新西班牙（今墨西哥）的萨卡特卡斯附近。因此，大量美洲白银经欧洲飞越太平洋，穿过菲律宾

的马尼拉流向中国，马尼拉也由此成为西班牙贸易在东亚的主要枢纽。弗林和希拉尔戴斯认为，正是白银贸易驱动了第一波的全球化，因此他们把1571年作为全球化的诞生之年，因为是年，西班牙殖民者建立了马尼拉城，马尼拉连接着太平洋贸易与东亚，整个世界遂因远洋航运联成一体。

颇令人称道的是，早在19世纪，洪堡就对全球白银贸易最终流向中国的状况做过详细的描述。洪堡当时获得奖学金，正是因为他在1803年底对墨西哥的档案进行了深入研究，再结合他对墨西哥采矿情况及前一年在安第斯秘鲁探险收集到的数据。这位普鲁士人特别好奇：为什么这么多的白银最终都到了中国呢？但他一直没有找到问题的回答。在洪堡富于开创性的研究几乎被世人遗忘之时，弗林和希拉尔戴斯开始了自己的研究。洪堡的研究之所以险些被遗忘，可能是此时民族国家史占据主导地位，而研究全球的关联被视为无足轻重。[63]

总之，受白银贸易的驱动，截至1580年，一个由欧洲主导的全球贸易网络终于建立了起来，建立的过程是和平与军事手段并用。由此导致的全球分工又进一步刺激了全世界范围内提取物质与能量活动的加剧，手段更为精致、交流日趋广泛，许多地区和区域的生存条件被重新改造。把人口（通常是奴隶）、植物和动物从一个大陆转运到另一个大陆，也就是艾尔弗雷德·克罗斯比所谓的“哥伦布大交换”（Columbian exchange），遂导致了多个大陆生态条件的整体改变。整个世界的生物物种经由一个单一的物种就可以实现再连接，因此之故，德裔美国历史学家沃尔夫·沙弗（Wolf Schäfer，1942— ）极力称道人类作为的巨大效应，堪比所有的板块再次突然碰撞，形成了第二个潘吉亚。[64]鉴于上述进展，全球文化的复杂性开始再次上升，许多地方和区域的复杂实体受制于全球化的巨大势能，要么屈服，要么被边缘化了。

正如威廉·麦克尼尔在《瘟疫与人》（*Plagues and Peoples*,1976）一书中所说，欧洲人推动全球化的作为，实际上得到了欧亚大陆既有的传染病的助力。欧洲人在北美能够取胜，是因为新旧大陆经过一万年的发展出现了疾病免疫力不均衡的现象，欧亚大陆的微生物给美洲印第安人带来了灭顶之灾，而欧洲人面对墨西哥或秘鲁的微寄生虫却能安然无恙。当然，在大多数情况下，欧洲人还拥有军事技术上的优势。然而，直到19世纪，欧洲人的优势在现代卫生及现代医学兴起之前却并未使其突破撒哈拉沙漠以南的非洲的内陆，而只能在沿岸附近逡巡，而且即使这样，非洲的西部和中部仍被认为是“白人的坟墓”。至于南亚和东南亚的大帝国，欧洲人则只能等到第一波的全球化及后来的工业化产出了真正的技术优势以后才能够加以征服，而在免疫能力方面，欧洲人与当地

人却大致相当，只能平分秋色。

不过从17世纪开始，美洲抵御疾病的平衡发生了转变。2010年，美国史学家约翰·麦克尼尔在《蚊子帝国》（*Mosquito Empires*）提出，欧洲殖民者在美洲大陆定居之后，经历了来自非洲的重大传染病的折磨，后者是搭载运奴船随奴隶一同来到新世界的，因此这些移民已部分具备对此类微生物的抵抗能力。与那些从旧世界后来的欧洲人相比，前者明显获得了流行病学上的优势。初来乍到的欧洲人通常不到几个月就大批落病，只好匆匆败退。这种对疾病抵抗力的新的平衡也构成1776年北美殖民者成功脱离大不列颠并获得独立的部分原因。

长期以来一直有学者主张，西欧的社会结构在很大程度上激发了上述殖民化及全球化进程的启动。[65]当时的西欧分裂成多个国家和采邑，且彼此征战不已，缺少能够赋予秩序或决策如何协调合理地使用欧洲资源的中央权威。例如，土耳其人1683年围攻维也纳，当时的欧洲根本没有一个能为欧洲人撑腰的统治者站出来，果断决策利用全欧洲的资源替维也纳解围济困。与此恰恰相反，就在中欧各国奋力抗击奥斯曼土耳其的300年间，伊比利亚半岛的居民们正忙着征服美洲呢。

欧洲内部的争斗不已需要越来越多的物质和能量才能支撑，所以就刺激欧洲人到外部去寻找。用艾伦、坦特和胡克斯特拉的话说：[66]

> 对于靠太阳能驱动的社会而言，更不要说超出自身技术能力极限的疯狂滥用由此得来的能量，要增加财富就只能是控制阳光所能照到的更多的地面。因此，欧洲人就有必要获取他乡的财富以补贴内部斗争之需。这样，新式的能量和非本土的资源就可以集中到世界一小部分的土地上。集中使用全球的资源就可以让欧洲的争斗达到前所未有的复杂程度，其费用绝不是欧洲本土的资源就能够支撑的。

欧洲内部加剧的竞争导致大批新的发明创造问世，又借助加速的集体知识向外界迅速传播，欧洲社会也因此变得愈发强大。这一进程的重要特征，用艾尔弗雷德·克罗斯比的话说，就是愈来愈多的“量化现实”（quantification of reality）。[67]也就是说，此时的欧洲人比地球上任何其他地域的人都更乐于用数字来计量世间万物的特征，举凡时空、记账、绘画、音乐，等等，都是数字说了算。不过，这一做法也使得欧洲人能够更有效地掌控物质和能量。不用说，对现实愈来愈多的量化为后

来的科学革命以及再后来的工业革命铺平了道路。

相比之下，在中国，却依然是中央集权对商人实施严密的控制。当然，15世纪初期，郑和（Admiral Zheng He，1371—1433）率领的巨型船队也曾几次出海探险，最远甚至到达东非。还有一些颇有争议的说法，称郑和的船队甚至有可能到过美洲。不过，郑和的远洋探险还是被朝廷叫停了，可能是因为朝廷觉得更明智的做法是将资源投入把蒙古人驱赶出北方领土的事业上，而不是耗巨资到遥远的南方诸国去游历，因为后者根本得不到明确的投资回报。[68]

如同此前国家的出现一样，全球化的第一阶段同样是社会体系的转型。当然，此时也有许多技术上的改进，特别是远洋航运大大方便了人和物品在全球范围的移动。但第一波的全球化不同于此前的农业革命或后来的工业革命，因为此间并未出现获取物质和能量方式上的重大技术突破，所有的社会都还依赖可再生的太阳能。此时最伟大的创新是把所有的生产方式都纳入一个单一的全球贸易网络之中，而这一网络由相对少数的人或国家主导。

阿姆斯特丹即使不是最早的，也是最早全球化的城市之一。在这座城市的“黄金时代”，来自世界各地的人和物品在这里的大街小巷穿梭不停。颇有名望的制图产业就是在这座城市诞生的。阿姆斯特丹生产世界地图、普通地图和地球仪，在市政厅最大的房间，也就是后来达姆广场上的皇宫，里面大理石的地板上镶嵌着一幅地球全图和天穹全图（这些图迄今还在，只不过后来又经过装修）。换言之，当地人骄傲地认为，他们可以实实在在地走在地球上，也能够脚踏整个天穹。此外，这里还生产多种寓言式的地球图章（我称之为“地球偶像”），以此说明17世纪的阿姆斯特丹人是具有全球视野的实干家，就像最近20年多家公司和大众传媒热衷采用的那种图章一样。比如，当时颇受欢迎的一款地球偶像是阿姆斯特丹的处女像，她手握地球，俯瞰着水手们把来自世界各地的财富运到这里。虽然当时“全球化”这个词还不存在（大概是20世纪才创造出的词汇），骄傲的阿姆斯特丹市民已有多款象征全球化的图章。可能在同期其他主要城市，如伦敦和巴黎，情况也大同小异。

作为全球化第一次浪潮的一部分，现代科学方法出现了。这一进展与当时的技术进步有密切关联，比如海洋导航、制图和枪炮技术。其中还包括望远镜和显微镜的发明，借助这类发明，人类看到了以前用肉眼根本无法看到的东西。随着时间的推移，人类还学会了借助无数新式的人工传感器以探索整个电磁频谱范围内的所有存在物。这在整个生物史上是独一无二的，由此产生了许多新的洞见，人类获得的有关自然界的

知识也迅速增加。比如，人类对太阳系第一次有了相当准确的认识，那时对所有生物的分类则延续至今，人体解剖更为精确，对组成万物的众多微小粒子也有了更客观的了解。换言之，这一时期的成就为现代大历史奠定了基础。科学技术的突飞猛进至少在短时期内使人类得以更牢靠地掌控大自然的许多方面。[69]

1776—1825年期间，欧洲人在美洲的殖民地大多已摆脱旧世界皇室的控制。殖民地的居民之所以能够做到这一点，是因为他们已不再依赖来自欧洲的人工复杂形式，尽管欧洲的统治者竭力试图保持这种复杂性。美洲率先获得独立的国家是美利坚合众国。这个新国家由富有的社会成员控制，特别是拥有大量土地者和中产阶级。

后来，受大西洋彼岸历史发展的启发，法国大革命为整个欧美的社会转型奠定了基调，于是导致了西班牙和葡萄牙在美洲的殖民地纷纷独立。后一独立能够实现，还在于拿破仑战争期间法国占领了伊比利亚半岛，从而削弱了西班牙和葡萄牙对美洲殖民地的控制，所以崛起中的中南美洲中产阶级便从殖民统治者的掌控中挣脱出来。不过，许多新兴国家却很快又回到了当地封建地主精英的掌控之中。结果，即使到了今天，许多拉丁美洲的中低阶层仍在努力摆脱传统统治精英的掌控，而在印第安人看来，欧洲人的统治从未结束。类似的事情在其他地区也有发生，尤其是在澳大利亚、新西兰和大洋洲的其他国家和地区。

中产阶级与科学、艺术和哲学

大多数的科学、艺术和哲学工作者都属于中产阶级。农民通常很少或根本没有时间做这类事情，因为他们要忙着种地。农民常渴望改善自身的处境，但对超越自我的观点或不能直接带来好处的技艺通常都没有热情。

但对城市里的居民而言，超越自我的认知却变得愈发重要，尤其是那些依靠贸易和产业过活的人。如前所述，这类人往往觉得形成准确的世界意象非常重要，因为他们的生计有赖于此。因此，科学、艺术、哲学和大历史都是率先在城市发端的。

但要做到这一点，还要看社会在多大程度上允许这类思想的表达以及如何表达。在那些没有明显霸主或王室统治比较薄弱的城市，市民通常会有足够的空间培养此类兴趣。因此，毫不奇怪，希腊的城邦、中国战国时期的市民群体，以及后来从早期全球化至今

欧洲及北大西洋的城市，都成为此类观点公开表达的中心。

如果这类城市从属于更大的帝国或较小的领主自治区，那就要视具体情况而定。假如统治者自身依赖贸易，就有可能允许甚至鼓励其中某些观点的表达，而对那些有损其权力基础的观念则采取压制政策。相关的例证有很多，包括希腊化国家，尤其是亚历山大市，罗马（只是在某种程度上）、伊斯兰世界、印度、中国、欧洲中世纪的城邦等。统治者自然会鼓励他们所需要的技术得到发展，例如军事和建筑艺术，以及有助于巩固其地位的其他技艺等。这就刺激了中产阶级从事相关产品的生产，而在这一过程中，中产阶级本身可能还会半明半暗地发展其他兴趣，比如科学和哲学（此二者曾长期被视为一体的两面）。

但只是到最近，才有民主国家将科学、艺术和哲学的教育加以制度化，也就是当今大多数市民所熟知的那些制度。在此类制度的形成过程中，亚历山大·冯·洪堡的哥哥——威廉·冯·洪堡（Wilhelm von Humboldt）起到了至关重要的作用，正是他为现代大学奠定了一系列基础性的体制，如注重教学科研、培养博士生从事研究等。威廉·冯·洪堡是柏林大学——现在的洪堡大学——的创始人之一，所以有机会率先在这里贯彻上述新思想。世界各地的中产阶级在相对开放的民主社会中不断崛起，从而使上述追求也全球化了。

工业化：第二波的全球化浪潮

18世纪末、19世纪初兴起的工业化标志着一个全新的复杂性生产方式的开始，即借助机器并由化石燃料驱动，后者本是储存在生物分子中的太阳能，在地壳下面积聚已有数百万年之久。从本质上说，工业革命意味着由化石燃料驱动的机器取代了肌肉、水能和风能。

在此之前，从来没有人觉得这种高增益的能源对生产会有什么用处。诚然，此前有很长时间，人们都在使用煤和石油作为烧火的燃料，或用来冶炼金属和玻璃器皿，但却从来没有人想过用它替代人或动物肌肉的力量。泥炭（peat）的情况也是一样，虽然这种燃料曾在17世纪驱动过荷兰的黄金时代。迟至1800年前后，亚历山大·冯·洪堡在现今的委内瑞拉还曾说天然石油不过是一种奇特的物质而已，这一点着实颇为有趣。他当时绝没有想到，两百年后，也就是地球绕太阳转200圈儿之后，这种能流会给这个国家提供大量财富，并成为左右国家政治强有力的杠杆。[70]工业革命时期，人类不仅学会了在生产中使用这种高浓缩的能量，还学会了把煤制成焦炭，从天然石油中提炼出汽油，使用煤炭和石油发电。

工业革命由是催生了一种新颖的获取能量并以此保持人类自身复杂性的方式。显然，创造并维持工业复杂性的收益要超过成本，至少在短期内是这样。在此之前，所有的人类社会几乎都是以可再生的太阳能为动力的，无论是农业阶段还是采集狩猎阶段。然而到了19世纪早期，化石燃料的使用为人类提供了大量的不可再生能源，这种能源的使用既有以建设性为目的的，也有以破坏性为目的的。只要有可能，人类就会把生产转变成一种连续不断的过程，因为连续不断的能源已经是现成的了。这使得我们这一物种至少暂时地能够制造和驱动越来越多、也越来越精细的人工复杂实体，包括更长距离、更为有效的通信方式，当然条件是利润一定要超过成本。这种发展还导致社会复杂性发生了深刻变化，使得人类食物的金字塔在形态和性状上也发生了深刻变化，而已有的由人主导的生命体食物金字塔也被大大强化。

社会的工业化极大地强化了第一波全球化以来社会发展的一般趋势，于是造成了第二波的全球化。直到18世纪末，差不多所有的生产过程都是由人和动物肌肉的力量或风能、水能驱动的，而且能量都是来自

本地或本区域。工业生产首先出现在有大量天然新资源的地区，主要是煤、铁和水源，但工业生产的迅速扩散旋即刺激了世人在全世界范围内寻找多种自然资源。然后这些资源被运到工厂，很快被加工成各式各样的产品，数量空前且相对价格低廉。因此，借助业已发生重大变革的交通工具——蒸汽火车、轮船，工业制成品很快被销售到全球各地。全世界各地的人因此变得愈发相互依赖，也有越来越多的地区沦为工业用自然资源的原产地和工业制成品的倾销市场。同时，工业化还使军队更具毁灭性。

如果没有无机燃料驱动的经济的日益发展，长距离通信的快速增长和强化（首先是电报，然后是电话，接着又有了无线电、电视以及最近的互联网）是不可能做到的。同样的道理也适用于摄影、电影、录音等方式实现的各种记录。所有这些都极大地促进了全球范围的集体知识和娱乐，从天文学到流行文化。

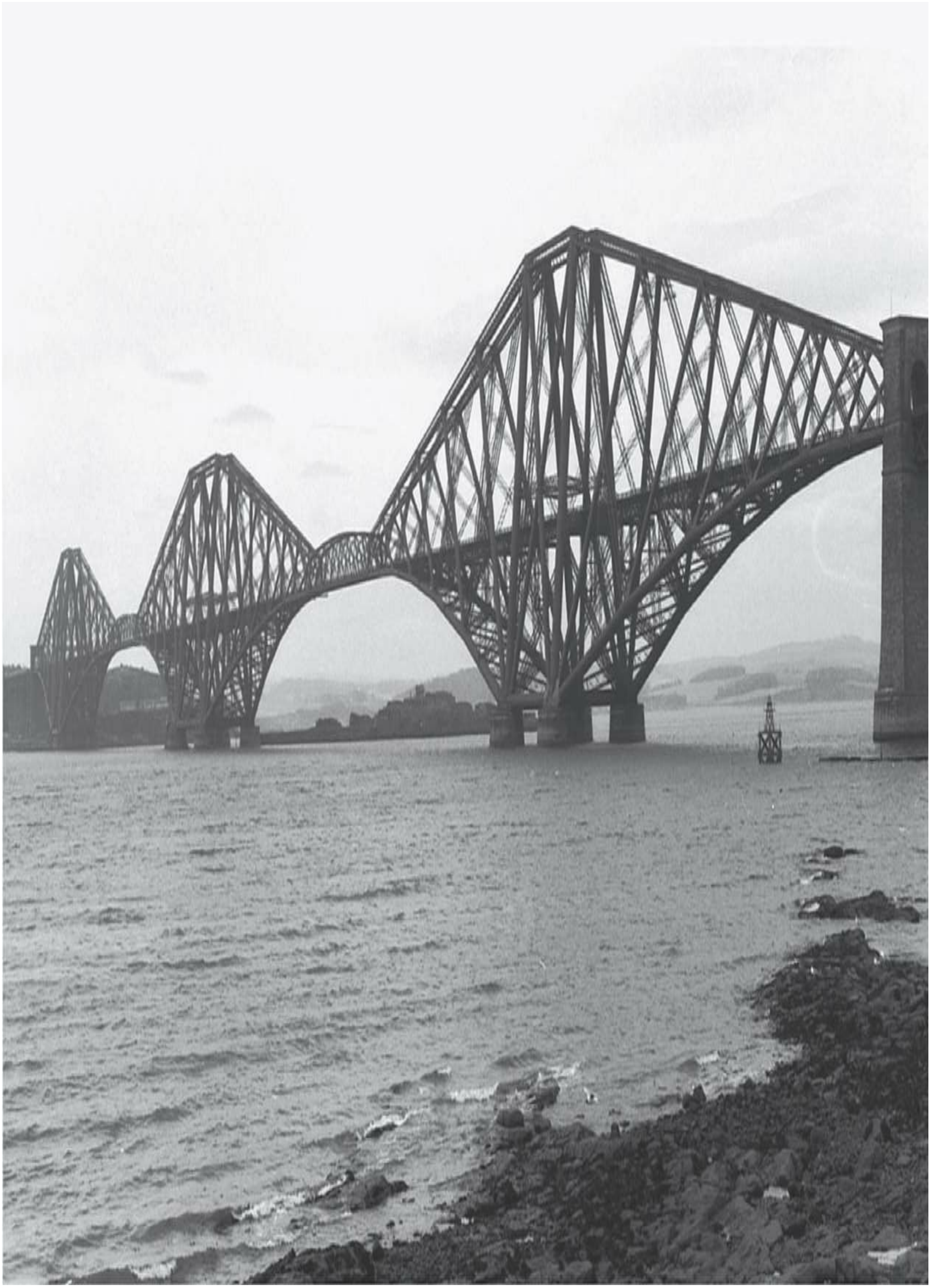


图7.3 位于苏格兰爱丁堡的福斯铁路桥可谓工业革命的范例：钢架横跨河两岸，重型运输机械穿梭不停，连接着这一地区的市镇村落。（由本书作者1970年拍摄）

产业化首先出现在英国，显然，这里的金凤花条件有利于工业创新。早在中世纪末，英国人就开始开采煤炭，因为此前都是伐木烧炭，而那时的森林已经所剩无几。他们还挖掘其他自然资源，如铁和锡。但这些矿山的地下水位都很高，所以不可能挖掘到更深的层次。为解决这一问题，英国工程师托马斯·纽科门（Thomas Newcomen，1664—1729）改进了既有的“火机”（其实是一种原始的蒸汽机）模型，并进而发明了第一台蒸汽机，能够把水从矿井里抽出来，这样就可以继续往深挖掘。其核心思想是利用两种较丰富的资源——水和煤，以摆脱地下水，然后获取更深层的煤及其他矿产资源。对照后来的标准，纽科门的蒸汽机相当低效。

18世纪70年代，苏格兰工程师詹姆斯·瓦特（James Watt，1736—1819）对纽科门的蒸汽机进行了重要改进，从而大大提高了蒸汽机的效率。这也使得蒸汽机可以应用到更广泛的生产领域，首先是纺纱和织布。詹姆斯·瓦特注册了发明专利以后，又和英国企业家马修·博尔顿（Matthew Boulton，1728—1809）成立了合资的企业，专门制造和销售这种新式蒸汽机。这种新能源的使用大大降低了生产复杂实体的成本，于是又导致了一种新型企业家的出现，这种实业型的企业家采用化石燃料驱动的机器从事生产，然后销售品种愈发多样的复杂实体，因而获利颇丰。[71]由于大批公司企业都锐意创新，如英国的韦奇伍德（Wedgwood）装饰陶瓷公司，我们今日所见的全球消费文化很快就成形了。

但无论瓦特的技术突破如何重要，社会的工业化若缺少长期的特定的政治、经济和社会文化背景及科学技术的发展则不可能起飞，这其中自然还包括商业及原工业企业家阶层的崛起，后者在法律的保护下取得了公司企业运营必备的金凤花条件。在英国，这包括以专利形式对技术发明的暂时垄断，允许发明者从其独创中获利。

中产阶级通过对工业生产的垄断很快变成了社会上最富有、也最有权势的阶层。卡尔·马克思称之为资产阶级接管国家。在短短100年的时间里，这一决定性的社会变革导致了现代民主国家的出现。首先，日益强大的中产阶级获得了选举权。后来，新兴的城市工人阶级也成功地组织起来并获得了民主参与的权利。在选举成为国家统治获得合法性的程序之后、国家宗教就失去了赋权的作用，于是教会与国家之间的关联就

大幅削弱了。与此同时，社会各阶层开始坚守与自身生存条件相适应的宗教崇拜形式，只是为了满足自己的宗教需求。

作为从农业社会向工业社会转型的一部分，农民日常饮酒的习俗开始被社会诟病，因为喝了酒再去操作机器会变得非常危险。于是人们开始倡导要保持清醒的社会理想，至少是在白天。当然，诸如此类的反酒精运动还针对那些领到周工资后就去酗酒的产业工人。考虑到许多产业工人都不得不在恶劣的条件下长时间从事枯燥且艰苦的工作，这种借助酒精暂时逃避现实痛苦的做法其实并不稀奇。此时，非经发酵的新饮料茶和咖啡也出现了，其实二者也都属于兴奋剂类。人们在饮用时通常加一些牛奶和糖，使其更富营养。这样，人们就不必再像过去那样每天喝着自家酿制的啤酒，虽然啤酒也曾是一种安全饮料且能提供能量。19世纪晚期，瓶装矿泉水也已成为一种安全饮料，其实不过是自来水再加些软饮料的混合物，这一做法甚至一直持续到20世纪。而这些都是水污染（熵）问题的工业解决方案。

意大利人口统计学家马西姆·利维巴茨（Massimo Livi-Bacci，1936— ）曾提出，伴随蒸汽机工作效率的提升，人类的繁殖速度也加快了。用利维巴茨自己的话说：[72]

> 在过去的两个世纪，西方人口经历了类似的过程。此前的特点是低增长率加高死亡率。女性一般都要生十几个孩子才能满足人口更新的需求。出生的子女有三分之一甚至一半还没有达到繁殖生育的年龄就夭折了。从人口发展的角度看，旧的社会体系相当低效：哪怕是维持低水平的增长，也需付出大量的燃料（出生）并消耗大量的能源（死亡）。其实，旧有的人口体系不仅低效，而且还异常混乱。自然顺序被颠倒过来——即子女先于父母或祖父母去世——的概率非常之高。高死亡率再加上灾难频仍，使人根本无法在假定某个个体必然活着的基础上做出长远的规划。

简而言之，工业生产不断提升的效率和可预测性与个体生活的改善出现了同步发展的局面。因此，工业社会的人口也迅速增长，从1800年的约9亿人猛增到今天的70多亿人。

如同动植物的驯化一样，工业化也是一个持续的过程，导致社会内部及不同社会之间出现巨大的权势差异。在工业化初始形成的社会，民族文化的复杂性再度上升，世界其他地区的文化变革也因之无可避免。

截至19世纪，覆盖全球的人类之网变得更加强大，重大发明很快就能传播开来。与农业及早期国家在世界七大区域分别出现不同，工业化的发明只有一次。此外，社会的工业化造成又一波的全球化浪潮，使得世界其他地区的社会不可能再独立发明基于化石燃料的工业生产模式。

随后不久，欧洲及欧洲以外许多新兴国家的企业家和政府也都效仿英国建立起自己的现代工业体系。这是工业化在全球普及的开始，迄今尚未完成。如同当初向农业社会过渡一样，工业革命也可以看作是一系列重大的创新，而后导致文化适应辐射的过程。同时，这一时期还见证了旧式的复杂实体的衰落，尤其是原有地方的生产模式的衰落。

凡成功实现工业化的国家都变得史无前例的富有，首先是精英阶层，然后是广大民众相当大的一部分，富裕到人类史上亘古未见的程度。显然，此时的产业精英已经认识到，现在已不可能把所有新的物质、能量和复杂实体据为己有。另外一个原因是，现在越来越多的穷人开始在城市里生活，他们可以通过罢工、暴动和发动革命等形式对统治者构成直接威胁。在农业产业化以后，城市经历了惊人的增长，交通运输能够确保城市的大量人口获得粮食供给，而公共卫生的改善更使人口轻松得到替换，甚至会自行增长。而这一切又导致农村人口一波一波地向城市移民，乡下人总希望在城市里找到足够的物质、能量和发展的金凤花条件。因此，特大型的都市出现了，里面动辄有数百万人口居住。

因为所需的自然资源往往集中在相对较小的区域，所以出现了“寡头垄断”（oligopolization），即只有少数几个参与者和企业操控资源的状况。时至今日，有相当一部分资源仍被少数几个能源公司和矿业企业掌控着，所以这些公司和企业获利甚巨。此外，还有一种类似的状况发生，那就是不断制造和销售各种新奇的复杂实体，富裕国家里往往有许多人认为，这是他们理所当然要做的事情。比如，英国的纺织业几乎把印度的棉纺织业完全挤垮了。然而，事实证明，控制人工复杂实体的生产和贸易比控制自然资源的获取要困难得多，于是出现了下述状况：从小型家庭公司到大型跨国公司都试图不断地推陈出新。

在第二波全球化浪潮中，科技知识迅速增长。作为其中的一部分，许多企业都设立了负责产品研发的科学实验室。政府也开始刺激科学知识的生产和传播，比如通过资助大学从事研发，并把科学教育纳入新兴的国家课程体系之中。于是就导致了整个社会的“科学化”（scientification），结果，有越来越多的人开始依赖于现代科学技术以求得生存。然而，即使在今天，即使在非常富裕的国家，也很少有人对科学有着全面的把握。这首先是由于科学知识的迅速增长导致科学分

化成许多学科。这种所谓还原主义的研究项目获得了最多的资金支持，因为它在短期就能带来颇引人注目的研究成果，而选择整体把握型研究项目的科研人员，类似当初亚历山大·冯·洪堡所做的那样，却几乎得不到任何资金支持。

鉴于欧美最早实现工业化的国家之间竞争的日益激烈，各国政府均在全国范围内设立了义务学校，以期培养出技术娴熟的劳动力大军，同时在学校传授国家历史和国家地理知识，希望籍此培养出国民的团结精神。这种追求和作为遂导致了19世纪下半叶民族国家的形成，在新的民族国家中，公民不光有地方的和区域的身份，还要有一种习得的“国民大家”一分子的认同。其实这一做法并非完全新颖，但由于有了新的交通和传播手段，如火车、蒸汽印刷，以及后来的汽车、广播和电视，国民身份认同的灌输比以往任何时候都更加激烈。

社会的工业化在全世界范围产生了巨大的权势差异，特别是在工业化国家与非工业化国家之间，但在工业化国家之间也有突出表现。工业化国家之间的激烈竞争导致了世界大部分地区被进一步殖民化，这通常是争夺自然资源或工业品销售市场的直接或间接结果。在世界上大部分可以征服的地区都被征服的情况下，工业化国家之间爆发了两次“世界大战”，彼此拼得你死我活。第二次世界大战结束后，又形成了两大权力集团，双方展开了争夺世界霸权的冷战。这种全球性的激烈竞争刺激了多种工业技术的发展，同时也创造出许多新式的复杂实体。

竞争与创造导致了前所未有的经济福利，特别是在北大西洋社会。工业化也带来了男女之间更平等的关系，因为无论是男人还是女人，现在所要做的只是在机器上或汽车上按下按钮，所以即使男女在体力方面确有差异也没什么了不起。此时发明的更有效的控制人类生育的方法也极大地强化了男女平等的趋势。这时的女性就有条件进入公共领域了。

整个民族国家的人口都变得富裕了，不光是成年人，还包括青年人，这在人类史上还是第一次。贯穿于青少年之间的这种新的能流遂导致了青年文化的诞生，青年人有自身特色的音乐、电影、服饰、食物和交通工具。不过，伴随这种新式复杂实体的问世，所谓的“代沟”（generation gap）出现了：成年人与其子女之间在文化品位和生活习惯方面都有很大的分歧。而当这些青年人成为父母时，却察觉不到上述代沟，因为他们早已习惯了这种差异（当然，变化还在继续中）。

由于全球交流网络的迅速增长，工业技术在某一工业化国家被采纳后已无法长时期保守秘密。于是出现了大量的复制现象，导致工业技术在全球传播。运输技术也出现重大革新，尤其是货运卡车和集装箱船的

问世，更使得大量人工复杂实体以低廉的价格在全球范围流动。因此，现在的状况是：哪里的成本最低，众多产品就在哪里生产。其结果是全球工业的扩散，与此同时，北大西洋社会多个原本工业化的地区经历了某种去工业化（de-industrialization）的历程。

上述进展造成了前所未有的全球分工，从而使全球复杂性日益增加，当然其代价是牺牲了地方和区域的复杂性。尽管第一批工业化国家已丧失大部分工业能力，但直到今天，它们依旧保持着相当强大的实力，至少是因为它们还能把控其他地区的生产过程。因为贫穷的产业工人通常都居住在远离大型国际公司总部的地方，所以公司企业的领导人面临劳动力的威胁相对较少。只要其他地方还有大量的贫困人口甘于少量的收入就能做工，那么企业领导人只需暗示一下转移生产基地的事情就足以让劳动力屈从。所以，这种状况目前还能让国际企业家保持富有。

在亚洲，韩国、新加坡、马来西亚、泰国、菲律宾、印度尼西亚、中国、印度和越南等地都经历了这样的发展，而在拉美，则有巴西和墨西哥率先加入这场比赛中。然而，后来者却向上述国家和地区发起了愈发强劲的挑战，尤其那些生产成本更低、也具备必要生产技术的国家和地区。伴随工业化为新兴国家带来更多的物质财富，当地人的民主化热情也被激发了。不过，最近的经济全球化浪潮使富裕国家的一些成员对世界各地的不平等现状感到越来越不安。对全球化的抗议通常被归结为一个词：“反全球化”（anti-globalization）。

信息化：第三波全球化浪潮

受当前信息技术革命的影响，上述各方面的进展又得到极大加强。过去的70年——也就是地球绕太阳转70个圈儿的时间——见证了人类操控电子数据的能力得到显著提高：借助计算机、电话线或卫星天线，人类已能对前所未有的海量数据进行准确快捷的处理。究其本质，信息化革命等于用计算机取代人脑，且使人与人之间的交流得到极大改善。显然，所有这些新式复杂实体的成本不超过收益。

信息革命可谓发端于19世纪。1866年，第一条横跨大西洋的电报电缆建成并投入使用。大约在同时，横贯美洲大陆的电报业务线路也在美国建成。而这只是电信业务加速发展的开始。截至1903年，世界上很大一部分地区都已通过洲际电缆实现连接。虽然以今天的标准来看，当时的数据传输能力还相当低，但全球电子网络的出现却是一种革命性的发展，几乎是突然间，人类通信的速度变得越来越快。到了20世纪，这些网络被不断扩大。电话的发明特别有助于改善全球通信，而全球数据传输技术也在不断发展，尤其是通过玻璃光纤和借助卫星通信。

接下来最重大的一步改进是计算机的出现。计算机本质上是一种操控数据的人工复杂实体，人类从此可以通过计算机控制外部过程。如果说由化石燃料驱动的机器是取代人类和动物肌肉的力量，那么计算机则开始接管人类大脑的功能。二十世纪四五十年代的第一代计算机都相当笨重，要借助大量真空管才能运转，而且真空管经常容易断开，而线路连接也是通过手工插线完成的。按照今天的标准，他们可谓消耗了大量的物质和能量却只生产出相对较少的复杂性。相比之下，更新式的数据技术是在既快又小的数字计算机上运行的。该项技术是20世纪60年代美国阿波罗登月项目最直接的副产品。同样，美国国际商用机器公司（IBM）也是因为参与了任务控制系统建设，而后在世界各地协助建设类似的控制中心而赚了大钱。

20世纪80年代，当计算机与全球电子网络实现连接之时，一场新的通信革命终于爆发了。事实上，通过因特网传输信息，就如同用集装箱输送货物一样，二者均是以较低廉的成本在全世界范围转运人工复杂实体。因为信息革命，我们目睹了经外部阐释和储存的新的信息大爆炸，其中既有真信息，也有假情报。结果，集体知识的过程再次加速，而集

体遗忘正在放慢（包括当今世界大国间多种途径的彼此监视）。

如今，只要有一台连接因特网的电脑，任何人都可以向世界范围的其他人交流信息或干脆把信息放到网上。这一进步深刻改变了人类获取信息及彼此交流的方法和手段。一个真正的全球大脑正在涌现，籍此，人们可以实时获取和交换前所未有的海量信息，而且几乎是免费的。因此，权势和相互依赖的平衡正在迅速改变。比如，此时的政治家和医生必须面对的客户比以往任何时候都知识渊博。而这不过是两个简单的事例，说明新的能流驱动多种新式人工复杂实体为全球社会带来了如何巨大的变化，而社会本身的复杂度也因之改变。

现代数据技术的出现，带动了最先实现工业化的国家多种服务业的发展。到目前为止，这些国家因率先发展而仍保持较强的竞争力，同时生活水平相对也比较高。然而，在过去的20年里，这些技术也开始在全球各地传播，只要利用得当，当然就有利可图，其中一个主要原因是，全球数据的传输已变得快捷、廉价和可靠。

上述方方面面的发展可概括为第三波全球化。其实“全球化”这个词就是在这一时期创造的。今天，无数的人们在全球范围内不断沟通，于是就产生了迄今最复杂的全球文化网络。虽然这一发展造就了相当程度的文化融合（cultural convergence），但世界各地的生活条件、技能和世界观仍存在很大的差异。

由于资本主义的全球化，前所未有的大量资金也正以电子方式在全世界的范围流动，哪里的利润最大，就流向哪里。这使得控制资金流动的银行业变得非常富有且具影响力。此外，最早实现工业化的国家一般都支持迄今相对稳定和可靠的货币流动。在过去的数十年里，最突出的是美元以及后来的欧元，其他国家的政府和个人也有不少选择以此作为储蓄和交易的币种。这种状况非常有助于目前的北大西洋国家保持自身的财富，而且只要其他国家愿意购买美元和欧元（造币本身的费用几乎为零）以换取自然资源、工业产品和服务，上述趋势就会延续下去。

在许多富裕的民主国家，国家与教会之间昔日的纽带已经破裂，尽管还没有完全消失。这一正式破裂导致了宗教的私域化（privatization）。因此，许多宗教均朝地方化或满足当地人宗教需求的方向发展，而传统宗教强加于人的种种约束也大幅降低。不过在世界上的其他许多地方，国家和教会之间的关系还没有被完全解除，而且有些这样的国家因向世界其他地区出售自然资源而变得极为富有。这是全球范围人工复杂实体生产和消费日益增加的直接结果，同时也刺激了人类针对自然资源在全球展开的日趋激烈的竞争。

尽管有上述多方面的巨大进展，但即使到了今天，仍有许多贫困人口生活在工业化程度较低的国家，这些人仍然在土里刨食。然而他们通过新闻媒体了解到其他地方的生活条件更好，而且时下的交通运输前所未有的便利，因而出现了全球规模的大移民。大多数的穷困移民是哪里更容易获得物质和能量，就迁移到哪里。这一发展路径并不新奇，但时下的规模却是史无前例的。

上述所有进展加到一起，反倒在人的内心激发起新的不确定感，穷富皆然。这种不确定感往往以新的宗教热忱的形式表达出来，包括伊斯兰宗教激进主义、美国的电视福音布道、北大西洋世界多种佛教教义盛行。因此，在过去的几十年里，在全球范围内出现了巨大的宗教市场，专门迎合不同群体的宗教需求。这也使得许多规模较小的宗教得以在全球传播，只要它们能满足某地某些人的需求。比如，就连安第斯山脉地区的传统农业宗教，最近也被人稍加改造，用以迎合现代城市人的某种需求，并因此被全球化。这只是当今宗教全球化的现象之一。[73]

1961年，作为对苏联率先实现载人航天的回应，美国总统肯尼迪发起了的阿波罗登月计划，试图以此恢复世人对美国技术优势的信心。作为地球上的一个物种，人类从地球出发，登上我们在太空中最近的伙伴星球，然后又安全返回地球，这在整个历史上还是第一次，如图7.4所示。虽然此前大多数人都没有想到，但阿波罗计划的确以图片形式向我们展示了新的地球观，比如那张“地球升起”照片，使我们深刻领悟到了“地球太空船”（Spaceship Earth）实际上非常脆弱。这些照片为方兴未艾的环保运动和新兴的整体科学方法注入了强劲动力，比如大爆炸宇宙观、板块构造学说和詹姆斯·洛夫洛克的盖娅理论，而所有这一切使得大历史的综合成为可能。



图7.4 20世纪人类控制物质和能量的能力突飞猛进：1968年秋季，阿波罗8号航天员借助土星5号火箭成功进入月球轨道并安全返回地球（来源：美国宇航局）

人类曾何其暴力？

人们通常会觉得我们生活在一个非常暴力的时代，而媒体上每天的新闻也似乎印证了这一点：谋杀、强奸、战事及其他各种形式的暴力事件不绝于耳。但我们今天真的生活在充满暴力的社会之中吗？人类社会在历史上究竟有多暴力呢？

2001年，俄罗斯心理学家兼大历史学家阿科普·波科索维奇·拿撒勒钦（Akop Pogosovitsch Nazaretyan，1948— ）用俄文发表了一篇文章，后于2010年译成了英文，文中就提出了上述问题，并提

出：尽管人类杀戮同类的技术手段变得异常强大而且高效，但人均屠杀的比率却明显下降了。拿撒勒钦最近又有如下表述（2014 ce, pers.com）：

通过计算可知，在最近的数千年里，人类死于暴力的比率一直在不规则地下降。尽管人在技术方面的破坏潜能和人口密度不断提升，但这并不影响上述发展趋势。……生物学上的行为平衡（ethological balance）原理规定：某一物种的天然武器——如利爪和獠牙——与其种内侵略本性的抑制之间存在某种平衡，正是这种平衡确保了该物种有足够数量的个体得以存活。然而，有证据表明，奥杜威峡谷（Olduvai Gorge）的能人（*Homo habilis*）在造出了最初的石器工具（石斧）后也曾用它来对付陷于冲突中的同类。因此，生物学上的行为平衡原理在人类进化的早期阶段即被打破。……不过从那时起，原始人和现代人类社会的生存却取决于文化中的工具属性与自我控制之间达成的价值对等。……技术——人道平衡律（law of techno-humanitarian balance）主张，生产能力和战争技术的水平越高，行为规范也相应地要更先进，这样才能确保社会能够实现自保。

拿撒勒钦的详细论证其实可归结为一句话，即伴随历史的发展，人类逐渐认识到协商分配资源比通过暴力抢夺实际上更有效。

无独有偶，2011年，加拿大籍进化心理学家及认知科学家斯蒂芬·平克（Steven Arthur Pinker，1954— ）发表了专著《人性中的善良天使：暴力为什么会减少》（*The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined*），其观点与拿撒勒钦几乎完全一致，只不过平克的证据更多一些（许多证据拿撒勒钦根本拿不到）。在前国家社会，总的说来是每10万人就有500人每年死于非命。而到了国家社会阶段，这一数字下降到每10万人有70人死于暴力，这一统计甚至包括战争不断的19世纪。而到了20世纪，这一数字令人惊讶地又有所降低。实际上，在这一看似最暴力的世纪——包括所有的战争、种族灭绝和其他形式的暴力，年均每10万人只有60人死于暴力事件。而在今日的西欧，这一数字为每年每10万人只有1人，远低于每年每10万人死于交通事故的人数（依国家不同，在5~10人之间）。显然，伴随历史的发展，人类社会已变得更加平和。

平克特别引证英国哲学家托马斯·霍布斯（Thomas Hobbes）的观点，认为国家形成有助于社会走向和平化，所以才会出现暴力的递减趋势。平克还提到诺伯特·埃利亚斯有关文明进程的理论，称

国家的发展导致了社会的和平化，原来的武士因而变得更驯服了；于是宫廷社会衍生出了和平优雅的行为准则；而后又被商人和匠人纷纷效仿，等等。从事贸易尤其需要彼此尊重，这一点也有助于和平行为的构筑。

和平的行为如涓涓细流，逐渐渗入新兴的富人群体中间，先是经历启蒙运动，而后是工业化和福利国家的兴起，上述和平趋势于是在全世界蔓延。因为人们在全球范围内的联系越来越密切，遂导致越来越多彼此的感同身受，认同的圈子也越来越大，从而使人的行为也变得越来越和平。只要世上有更多的人能够经历，或者至少期待，从劳动和接触中获得足够的财富，而不是通过征服和掠夺，这种和平的趋势就可能会继续下去。

能量、复杂性与金凤花条件

发展至今日，全世界范围内人均能源使用量的幅度差别很大。国际能源机构（IEA）提供了大多数国家的能源消耗数据，按人均石油当量（toe per capita）计算。依据IEA 2013年度《世界主要能源统计》报告，表7.1列举了其中一部分能源使用数据。[74]

表7.2对厄尔·库克有关人类史上的能源使用初步数据（表中的术语依据库克本人的用法）进行了小结。

表**7.1 2011**年度全球能源消费统计

地区	能源使用量（单位：瓦/人均）
世界均值	2,506
孟加拉	279
荷兰	6,185
美国	9,358
卡塔尔	23,727

表**7.2**人类史上的能源消费统计

类别	能源使用量（单位：瓦/人均）
狩猎者	200
原始农耕者	480
发达农耕者	1,040
工业时代的人	3,080
拥有技术者	9,200

（Cook，1971，p. 136）

从以上两表看，工业社会的数字颇为相近。显然，库克所谓“拥有技术者”是指美国居民。有趣的是，1971年，美国人均消耗的能源比现在只是少了一点点，虽然从那时起，美国已摆脱掉耗能巨大的相当一部分的生产企业。其他数据的吻合度还是有一些问题。这可能是因为估算古代社会或孟加拉等国家的能源使用数据都比较困难，后者可能有更多的人没有使用化石燃料，而其他形式的能源使用可能被忽略了。显然，这些数字是初步的，至多让人一览粗略的能源使用量级。

如果这些数字大致不错的话（记住：这些数字不包括通过采集狩猎者及农民使用火所获得的能量），那么由此我们就可以清晰得见人均能使用量上升的趋势，早期人类学会使用火以前的人均能使用量为80瓦，当代社会总体的人均能使用量为2400，而美国人均能消耗量则达到10000瓦。也就是说人类史上人均能使用量增长了近30倍。不过，经由人类掌控的总能流量比这还要高得多，因为整个人类人口已从几千人增加到今天的70多亿，等于增加了100多万倍。因此，人类在整个历史上获得的总能量增加了大约3000多万倍。

正如第二章所解释的那样，由化石燃料驱动的人工复杂性已超过已知宇宙中任何其他存在物的功率密度。表7.3只是其中一些数字的小结。[75]这些数据足以让我们看到：人类为实现自身的目的并借助化石燃料能够让大自然释放何等强大的能量。当然，这些数字都还只是粗略的估计。若要计算更加系统和细化，就只能靠密集的跨学科研究了。

直到今天，工业生产的金凤花条件都要比农业和畜牧业更加局限。工业社会形成的温度带通常介于零下20摄氏度和35摄氏度之间，气压通常接近1000百帕（海平面水平），而且一年四季有丰富的水源供应。目前，工业生产已转移到温度通常高得多的地方，但其他条件没有多大变化。例如，在高山或缺乏足够水源的地区，至今也还没有什么工业。显然，工业生产在全球范围内的传播比农业和畜牧业的传播更为有限，而后者又比采集狩猎更有限。由此可见，与采集狩猎阶段甚至动植物驯化阶段相比，工业生产迄今还没有在海洋中起步。

表**7.3**功率密度览要

类别	功率密度值（单位：瓦/千克）
恒星	0.0002
植物	0.09
人体	2
人脑	15
传统荷兰风车	0.15
现代德国风车	2
真空吸尘器	180
波音 747 喷气发动机	2,000
航天飞机发动机	2,120,000

而与此同时，工业化使人类得以在越来越宽广的地理条件下生存，这是由于我们这一物种更善于创造适合自身生存的居住环境。尤其是在20世纪，人类创造出了更加多样的小气候（microclimates），各种建筑在寒冷的季节都可以加热，还可以在温室里培植多种植物。下一步的问题是如何在炎热的季节为小气候降温，包括冷藏区、火车车厢、货车和船只，这样就可以大规模生产和输送肉类及其他易腐食品。然后，家庭

住房、办公室、汽车、工厂和商场在炎热的季节都要适当降温。再进一步，是各种休闲活动的小气候，包括人工滑冰场、滑雪场和热带游泳池（这并不奇怪，因为我们毕竟还属于热带动物），都要适当加热或降温。太空探索的小气候是制造出宇宙飞船和宇航服，而深海探险则有必要的潜水艇和潜水服。历史发展至今，还从来没有哪个物种像人类一样能够创造出如此丰富多样的金凤花条件。[76]

工业化使人类能够生产出前所未有的量大且品种多样的食物养活整个人类群体。尤其是在服务业居主导的社会中，大多数人已不须像从前那样做大量的体力劳动。由于吃的多、做的少，所以大多数人体重都增加了。我们不清楚一个人摄入并消化物质和能量的上限究竟是多少，但在富裕社会中，有不少人似乎决心要探问一下这种上限。相反，在世界的其他地方，却有许多人在相反的方向挣扎，即如何每天都能获得足够的物质和能量以保持自身的复杂性。

工业化社会在日益强大的同时，也变得愈发脆弱。比如，社会赖以运行的复杂电子系统一旦中断，整个人类社会就会陷入混乱，而这种灾难可能会因为宇宙事件降临人世。2008年，美国宇航局（NASA）在其发布的一份报告中指出，类似1859年的太阳耀斑一旦发生，全球范围的电网都可能被损毁，而遭遇这样大的损失可能需要数月时间才能修复。不用说，这种损毁对人类社会将是灾难性的。[77]更为严重的是，今天所有的工业社会都严重依赖日益减少的自然资源，尤其是化石燃料。正是化石燃料的大规模使用才造就了此前根本无法想象的全球文化复杂性，这样做的代价是旧有的地方性和区域性复杂性趋于下降。人类、物质、能量和信息，这四种存在以前所未有的方式环绕着今日的地球。作为这一过程的一部分，人类创造的社会及生态金凤花条件不断扩张，而与生产不相关也不受人类直接控制的大多数生命形式则急剧下降。

以上人类的作为造成了物质熵——即垃圾废物——在地球表面不断地集聚。虽然人类制造的温室效应在不断增强，但其大部分热量还是可以辐射的形式排放到宇宙的熵垃圾桶。然而，差不多其他所有的人为物质废料却只能停留到地球上。在人类史上的大部分时间里，这种废料都是由大自然的生物垃圾处理系统来清理的。但自工业革命以来，大量的物质废料已很难被地球上的生物回收利用。时至今日，这种废料已包含7,500多种化工制品，其中大多数对人畜和植物有何种影响还无从知晓。[78]因此，我们不禁要问：人类若不能发明一种更高效的垃圾回收体系，将会出现什么样的后果呢？以洛夫洛克的盖娅理论审视这一问题：因为人类正在破坏自身生存的金凤花条件，那盖娅是否会（非随机地）消除人类这一物种呢？

二十世纪三四十年代，世界各地的科学家们便开始探索核过程，因为他们觉得那里有新的前所未有且巨大无比的能源可加利用。最初的核弹威力，以及后来更为和平的核能利用，证明他们是正确的。然而，核裂变所能释放的能量只能来自铀，但铀在地球上的储量却相当有限。铀起源于塑造了太阳系的超新星事件，因此可以追溯到我们宇宙邻居的起源。与此过程相反，氢聚变产生的能量储存在类似的氢和氘（重氢）之中，其能量和储量均比核聚变的铀大得多，是宇宙“大爆炸”后旋即生成的元素。当前利用核聚变的最大问题是如何在可控的金凤花条件下实现连续获取足够的核能。如果科学家和工程师能成功做到这一点，那么未来会有大量的能源可供利用。然而迄今为止，核裂变释放的能量中有相当一部分，尤其是核聚变释放的能量，都被用于毁灭的目的。

伴随人类社会朝更高的复杂性迈进，整个生物圈却呈现出更简单化的发展趋势，这是由人类的行为所致。其结果是，相对少量的被人青睐的物种前所未有地成倍增加，而大多数其他物种——特别是那些体型较大的物体——的数量却在稳步下降，这一方面是由于其自身的复杂性或其居所遭到人类的破坏，另一方面是由于人类的直接杀戮。因此，生物进化可能正经历着寒武纪生命大爆发以来的第六次大灭绝。

由于生物圈不断受到人类的影响，自1800年以来的这一时段越来越频繁地被称为“人类世”，这一概念是诺奖得主荷兰大气科学家保罗·克鲁岑在2000年提出的。然而，如果最终得以确立的话，这将是第一个岩石记录中没有明确标记的地质时期，即地质学家所谓的“全球标准层型剖面和点位”（Global Boundary Stratotype Section and Point），因为岩石的形成往往需要好几百年以上的时间。不过，尽管由于缺乏正式的岩石标志使得地质学家不大情愿接受这样一个地质时代，英国地质学家简·扎拉斯维奇（Jan Zalasiewicz，1954— ）及其同事还是在2008年正式递交了命名申请，因为当今人类对生物圈的影响是无可否认的，但迟早有一天，人类肯定会把钉子楔到沉积岩中并因此确定这样一个时代，当然前提是人类要能够活到那一天。[79]

如同生物进化一样，人类发展似乎也是由物质和能量的竞争所驱动。伴随每一次重大的生态变迁和社会变革，总会出现物质和能量利用方面的各种差异，而率先适应者总能领先发展起来。但适应的技能却会传播，所以差异会伴随时间被拉平。人类先是学会了使用工具，继而又学会了使用火，然后发起了农耕革命、组成国家、步入全球化，直至后来的工业革命和信息革命。

人类使用物质和能量的效率可能有所提高，但我们对此却很难做出

确切的度量。高效率意味着用等量或甚至更少的能量生产出更多的复杂实体。从最近的技术实例看，如风车、蒸汽机、汽油发动机和计算机等，似乎存在着一种朝更高效率发展的趋势，因为人们觉得这样就能获得竞争优势。近来，出于环保的考虑，有些人已经开始节俭使用物质和能量。所以从长远来看，人类史的一个特点很有可能是不断提高效率。

显然，我们生活在一个前所未有的时代。地球史上还从来没有过哪个单一物种像人类一样能够在很大程度上决定自己的生态及社会金凤花条件，而且能够利用前所未有的海量物质和能量构建近乎无限多样的复杂实体。因此，很多人都在问自己：人类在不久的将来会是什么样子呢？地球又会怎样呢？

参考文献

Allen, Timothy F. H., Tainter, Joseph A. & Hoekstra, Thomas W. 2003. Supply-Side Sustainability. New York, Columbia University Press.

Anderson, Benedict. 1991. Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism. London & New York, Verso (1983).

Baron d'Holbach, Paul-Henri Thiry. 1770. Système de la nature. Ou des loix du monde physique & du monde moral [published under the pseudonym of Jean Baptiste de Mirabaud]. London [=Amsterdam], no publisher or printer mentioned.

Baron d'Holbach, Paul-Henri Thiry. 2001. The System of Nature or Laws of the Moral and Physical World. Kitchener, Ontario, Canada, Batoche Books (1868).

Bellwood, Peter. 2005. The Origins of Agricultural Societies. Oxford, Blackwell.

Bennett, John W. 1976. The Ecological Transition: Cultural Anthropology and Human Adaptation. New York, Pergamom Press.

Bilkadi, Zayn. 1995. 'Land of the Naphtha Fountain.' Saudi Aramco World September/ October (26–33). www.saudiaramcoworld.com/issue/199505/land.of.the.naphtha. fountain.htm.

Blegen, Carl W. 1963. Troy and the Troyans. New York, Frederick A. Praeger.

Budiansky, Stephen. 1992. The Covenant of the Wild: Why Animals Chose Domestication. New York, William Morrow.

Burroughs, William J. 2006. Climate Change in Prehistory: The End of the Reign of Chaos. Cambridge, Cambridge University Press (2005).

Caesar, Gaius Julius. 1984. The Conquest of Gaul (De bello Gallico). Harmondsworth, Penguin Books.

Carneiro, Robert L. 1970. 'A theory of the origin of the state.' Science 169, 3947 (733–8).

Carneiro, Robert L. 2012. 'The circumscription theory: A clarification, amplification, and reformulation.' Social Evolution & History 11, 2 (5–30). Moscow, 'Uchitel' Publishing House.

Cavalli-Sforza, Luigi Luca. 2000. Genes, Peoples, and Languages. New York, North Point Press. Cavalli-Sforza, Luigi Luca & Cavalli-Sforza, Francesco. 1994. The Great Human Diasporas: The History of Diversity and Evolution. Reading, Mass., Addison-Wesley.

Chambers, Robert. 1994. 'Vestiges of the Natural History of Creation.' In: Secord, James A. (ed.) Vestiges of the Natural History of Creation and Other Evolutionary Writings. Chicago & London, University of Chicago Press (i–390) (1844).

Christian, David. 2004. Maps of Time: An Introduction to Big History. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

Cochran, Gregory & Harpending, Henry. 2009. The 10,000 Year Explosion: How Civilization Accelerated Human Evolution. New York, Basic Books.

Cohen, H. Floris. 2010. How Modern Science Came into the World : Four Civilizations, One 17th-Century Breakthrough. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Cohen, Marc Nathan. 1977. The Food Crisis in Prehistory: Overpopulation and the Origins of Agriculture. New Haven & London, Yale University Press.

Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events. 2008. Severe Space Weather Events – Understanding

Societal and Economic Impacts Workshop Report. Washington D.C., National Academies Press. www.nap.edu/ catalog/12507.html.

Cook, Earl. 1971. 'The flow of energy in an industrial society.' Scientific American 225, 3, September (134–47).

Cook, Earl. 1976. Man, Energy, Society. San Francisco, W. H. Freeman & Co.

Crone, Patricia. 1989. Pre-industrial Societies: New Perspectives on the Past. Oxford, Blackwell.

Crosby, Alfred W. 1972. The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492. Westport, Conn., Greenwood Press.

Crosby, Alfred W. 1993.Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900–1900. Cambridge, Cambridge University Press (1986).

Crosby, Alfred W. 1997. The Measure of Reality: Quantification and Western Society, 1250–1600.

Cambridge, Cambridge University Press. Crosby, Alfred W. 2006. Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy. New York, W. W. Norton & Co.

Cunliffe, Barry (ed.). 1994. The Oxford Illustrated Prehistory of Europe. Oxford & New.York, Oxford University Press.

Curtin, Philip D. 1994. Cross-cultural Trade in World History. Cambridge, Cambridge University Press (1984).

Darlington, C. D. 1969. The Evolution of Man and Society. London, George Allen & Unwin.

Dayton, Leigh. 1992. 'Pacific islanders were world's first farmers.' New Scientist issue 1851, 12 December (14).

De Camp, L. Sprague. 1993. The Ancient Engineers: Technology and Invention from the Earliest Times to the Renaissance. New York, Barnes & Noble Publishing (1960).

Diamond, Jared. 1997. Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies. London, Jonathan Cape.

Diamond, Jared. 1987. 'Human use of world resources.' Nature 328, 6 (479–80).

Eisenstein, Elizabeth L. 1993. The Printing Revolution in Early Modern Europe. Cambridge, Cambridge University Press (1983).

Elias, Norbert. 1978. What is Sociology? London, Hutchinson.

Elias, Norbert. 1978. The History of Manners. The Civilizing Process, vol. I. New York, Pantheon Books.

Elias, Norbert. 1982. Power and Civility. The Civilizing Process, vol. II. New York, Pantheon Books.

Elias, Norbert. 1987. 'The retreat of sociologists into the present.' Theory, Culture and Society 4, 2–3 (213–22).

Elias, Norbert. 1992. Time: An Essay. Oxford, Blackwell.

Emmer, P. C. 2003. 'The myth of early globalization: The Atlantic economy, 1500–1800.' European Review 11, 1 (37–47).

Fagan, Brian. 1999. Floods, Famines, and Emperors: El Ni.o and the Fate of Civilizations. New York, Basic Books.

Fagan, Brian. 2000. The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300–1850. New York, Basic Books.

Fagan, Brian. 2004. The Long Summer: How Climate Changed Civilization. New York, Basic Books.

Fagan, Brian. 2008. The Great Warming: Climate Change and the Rise and Fall of Civilizations. London, Bloomsbury Publishing.

Fiedel, Stuart J. 1992. Prehistory of the Americas, 2nd edn. Cambridge, Cambridge University Press (1987).

Fieldhouse, D. K. 1973. Economics and Empire, 1830–1914. London, Weidenfeld & Nicolson.

Firestone, R. B., West, A., Kennett, J. P. et al. 2007. 'Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling.' Proceedings of the National Academy of Sciences 104, 41 (16016–21).

Flynn, Dennis O. & Giráldez, Arturo. 1995. ‘Born with a “silver spoon”: The origin of world trade in 1571.’ Journal of World History 6, 2 (201–22).

Flynn, Dennis O. & Giráldez, Arturo. 2002. ‘Cycles of silver: Global economic unity through the mid-eighteenth century.’ Journal of World History 13, 2 (391–428).

Flynn, Dennis O. & Giráldez, Arturo. 2008. ‘Born again: Globalization’s sixteenth century origins (Asian/global versus European dynamics).’ Pacific Economic Review 13, 3 (359–87).

Geel, B. van, Bokovenko, N. A., Burova, N. D. et al. 2004. ‘Climate change and the expan-sion of the Scythian culture after 850 bc: A hypothesis.’ Journal of Archaeological Science 31 (1735–41).

Hammen, T. van der & Geel, B. van. 2008. ‘Charcoal in soils of the Aller.d-Younger Dryas transition were the result of natural fires and not necessarily the effect of an extra-terrestrial impact.’ Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw 87, 4 (359–61).

Harris, David R. (ed.). 1990. Settling Down and Breaking Ground: Rethinking the Neolithic Revolution. Amsterdam, Stichting Nederlands Museum voor Anthropologie en Praehistorie, Twaalfde Kroon-Voordracht.

Harris, David R. (ed.). 1996. The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia. London, UCL Press.

Harris, D. R. & Hillman, G. C. (eds.). 1989. Foraging and Farming: The Evolution of Plant Exploitation. London, Allen & Unwin.

Harris, Marvin. 1975. Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology. New York, Harper & Row.

Heiser, Charles B., Jr. 1990. Seed to Civilization: The Story of Food. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Hershkovitz, I., Donoghue, Helen D., Minnikin, David E. et al. 2008. ‘Detection and molecular characterization of 9000-year-old Mycobacterium tuberculosis from a.Neolithic settlement in the Eastern Mediterranean,’ PLoS ONE 3, 10, e3426, 15.October, doi:10.1371/journal.pone.0003426.

Hillman, G., Hedges, Robert, Moore, Andrew, Colledge, Susan & Pettitt, Paul. 2001. ‘New evidence of Lateglacial cereal cultivation at Abu

Hureyra on the Euphrates.' The Holocene 11, 4 (383–93).

Hobsbawm, E. J. 1968. Industry and Empire. Harmondsworth, Penguin.

Holmes, Bob. 2008. 'Beastly tales.' New Scientist issue 2639, 19 January (30–3).

Humboldt, Alexander de & Bonpland, Aimé. 1818. Personal Narrative of Travels to the Equinoctial Regions of the New Continent, During the Years 1799–1804, vol. III. London, Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown.

Humboldt, Alexander von. 1822. Political Essay on the Kingdom of New Spain, vol. 3. London, Longman, etc.

Humboldt, Alexander von 1995. Personal Narrative of a Journey to the Equinoctial Regions of the New Continent (abridged and translated with an Introduction by Jason Wilson and a Historical Introduction by Malcolm Nicolson). London, Penguin Books (1814–25).

Humboldt, Alexander von. 1997. Cosmos, vol. 1, Foundations of Natural History. Baltimore, Johns Hopkins University Press (1858).

International Energy Agency. 2013. 2013 Key World Energy Statistics. Paris, International Energy Agency.

Jenkins, Elizabeth B. 1997. Initiation: A Woman's Spiritual Adventure in the Heart of the Andes. E. Rutherford, N.J., Putnam Publishing Group.

Kennett, Douglas J. & Kennett, James P. 2006. 'Early state formation in southern Mesopotamia, sea levels, shorelines, and climate change.' Journal of Island and Coastal Archaeology 1, 1 (67–99).

Kennett, D. J., Kennett, J. P., West, A., et al. 2009. 'Nanodiamonds in the Younger Dryas Boundary sediment layer.' Science 323, no. 5910, 2 January (94).

Kuijt, Ian & Finlayson, Bill. 2009. 'Evidence for food storage and predomestication granaries 11,000 years ago in the Jordan Valley.' Proceedings of the National Academy of Science 106, 27 (10966–70).

Landes, D. S. 1969. The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1730 to the Present. Cambridge, Cambridge University Press.

Landes, D. S. 1998. The Wealth and Poverty of Nations: Why Some Are So Rich and Some So Poor. New York, W. W. Norton & Co.

Lapperre, P. E. 1997. Sociologie en Techniek: Lange termijn wisselwerkingen tussen tech-nologie en maatschappij (Sociology and technology: Long-term interactions between technology and society). Eindhoven, the Netherlands, Eindhoven University of Technology, Department of Technology Management.

Leakey, Richard E. & Lewin, Roger. 1995. The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind. New York, Doubleday.

Lewis, Henry T. 1972. 'The role of fire in the domestication of plants and animals in southwest Asia: A hypothesis.' Man 7, 2 (195–222).

Livi-Bacci, Massimo. 1992. A Concise History of World Population. Cambridge, Mass. & Oxford, Blackwell (1989).

Loy, T., Spriggs M. & Wickler, S. 1992. 'Direct evidence for human use of plants 28,000 years ago: Starch residues on stone artifacts from the Northern Solomons.' Antiquity 66 (898–912).

Mann, Michael. 1987. The Sources of Social Power, vol. I, A History of Power from the Beginning to a.d. 1760. Cambridge, Cambridge University Press (1986).

Markley, Jonathan. 2009. 'A child said, 'What is the grass?': Reflections on the big history of the Poaceae.' World History Connected 6, 3. http://worldhistoryconnected.press. illinois.edu/6.3/markley.html.

McNeill, J. R. 2000. Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth Century World. London, Penguin Books.

McNeill, John R. 2010. Mosquito Empires: Ecology and War in the Greater Carribean, 1620–1914. Cambridge, Cambridge University Press.

McNeill, J. R. & McNeill, W. H. 2003. The Human Web: A Bird's-Eye View of World History. New York, W. W. Norton & Co.

McNeill, William H. 1963. The Rise of the West: A History of the Human Community. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1974. The Shape of European History. New York, London, Toronto, Oxford University Press.

McNeill, William H. 1976. Plagues and Peoples. Garden City, N.Y., Anchor Press/ Doubleday.

McNeill, William H. 1984. The Pursuit of Power: Technology, Armed Force and Society since ad 1000. Chicago, University of Chicago Press (1982).

McNeill, William H. 1991. The Rise of the West: A History of the Human Community, with a Retrospective Essay. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1998. The Disruption of Traditional Forms of Nurture: Essay and Discussion. Amsterdam, Het Spinhuis.

Mears, John A. 2001. ‘Agricultural origins in global perspective.’ In: Adas, M. (ed.) Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History. Philadelphia, Temple University Press (36–70).

Menzies, Gavin. 2002. 1421: The Year China Discovered America. London, Bantam Press.

Moore, R. I. 2000. The First European Revolution, c.970–1215. Oxford, Blackwell. Mueller, Ulrich G., Gerardo, Nicole M., Aanen, Duur K., Six, Diana L. & Schultz, Ted R. 2005. ‘The evolution of agriculture in insects.’ Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 36 (563–95).

Mumford, Lewis. 1961. The City in History: Its Origins, Its Transformations, and Its Prospects. New York, Harcourt, Brace, and World Inc.

Nazaretyan, Akop P. 2001. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории (Civilizational crises within the context of big (universal) history). Moscow: Per Se.

Nazaretyan, Akop P. 2010. ‘Technology, psychology and catastrophes: On the evolution of non-violence in human history.’ In: Evolution of Non-violence: Studies in Big History, Self Organization and Historical Psychology. Saarbrücken, Germany, LAP Lambert Academic Publishing (49–73).

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Pinker, Steven. 2011. The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined. New York, Viking Press.

Piperno, Dolores & Pearsall, Deborah M. 1998. The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics. San Diego, etc., Academic Press.

Pollard, Sidney. 1992. Peaceful Conquest: The Industrialization of Europe 1760–1970.

Oxford & New York, Oxford University Press (1981).

Pomeranz, Kenneth. 2000. The Great Divergence: Europe, China, and the Making of the Modern World Economy.

Princeton, Princeton University Press. Ponting, Clive. 1992. A Green History of the World. Harmondsworth, Penguin Books.

Pringle, Heather. 2007. 'Firestorm from space wiped out prehistoric Americans.' New Scientist issue 2605, 8–9 May (26).

Rathje, William & Murphy, Cullen. 1992. Rubbish! The Archaeology of Garbage: What Our Garbage Tells Us about Ourselves. New York, Harper Collins Publishers. Redman, Ch. L. 1978. The Rise of Civilization: From Early Farmers to Urban Society in the Ancient Near East. San Francisco, W. H. Freeman & Co.

Reed, Charles A. (ed.). 1977. Origins of Agriculture. The Hague & Paris, Mouton Publishers.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Renfrew, Colin & Bahn, Paul. 1991. Archaeology: Theory, Methods and Practice. London, Thames & Hudson.

Roberts, Neil. 1998. The Holocene: An Environmental History, 2nd edn. Oxford, Blackwell. Sanderson, Stephen K. 1995. Social Transformations: A General Theory of Historical Development. Oxford, Blackwell.

Sherratt, A. 1981. 'Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolu-tion.' In: Hodder, Ian, Isaac, Glynn & Hammond, Norman (eds.) Pattern of the Past.

Studies in Honour of David Clarke. Cambridge, Cambridge University

Press (261–305).

Sherratt, A. 1996. ‘Plate tectonics and imaginary prehistories: structure and contingency in agricultural origins.’ In: Harris, David R. (ed.) The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia. London, UCL Press (130–40).

Sherratt, A. 1997. ‘Climatic cycles and behavioural revolutions: the emergence of mod-ern humans and the beginning of farming.’ Antiquity 71, 272 (271–87).

Simmons, I. G. 1994. Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History. Oxford, Blackwell (1989).

Smil, Vaclav. 1994. Energy in World History. Boulder, Co., Westview Press.

Smith, Bruce D. 1995. The Emergence of Agriculture. New York, W. H. Freeman & Co., Scientific American Library.

Snow, Philip. 1988. Star Raft: China’s Encounter with Africa. Ithaca, N.Y., Cornell University Press.

Spier, Fred. 1992. ‘Een oud probleem: de relaties tussen mensen en het natuurlijk milieu in een lange termijnperspectief ’ (An old problem: The relations between humans and the natural environment seen from a long-term perspective). De Gids 150, 2 (96–108).

Spier, Fred. 1994. Religious Regimes in Peru: Religion and State Development in a Long-Term Perspective and the Effects in the Andean Village of Zurite. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1995. San Nicolás de Zurite: Religion and Daily Life of an Andean Village in a Changing World. Amsterdam, VU University Press.

Spier, Fred. 1996. The Structure of Big History: From the Big Bang until Today. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 2005. ‘How big history works: Energy flows and the rise and demise of com-plexity.’ Social Evolution & History 4, 1 (87–135). Moscow, ‘Uchitel’ Publishing House.

Stearns, Peter N. 1993. The Industrial Revolution in World History. Boulder, Co., Westview Press.

Swabe, Joanna. 1998. Animals, Disease and Human Society: Human–Animal Relations and the Rise of Veterinary Medicine. London, Routledge.

Tainter, Joseph A. 1988. The Collapse of Complex Societies. Cambridge, Cambridge University Press.

Trefil, James S. 1994. A Scientist in the City. New York, Doubleday.

Trivedi, Bijal. 2007. 'Toxic cocktail.' New Scientist issue 2619, 1 September (44–7).

Vélez, Antonio. 2013. Homo Sapiens: Psychology as Seen from Evolution. Bogotá, Colombia, eLibros Editorial.

Vitousek, Peter M., Mooney, Harold A., Lubchenco, Jane & Melillo, Jerry M. 1997. 'Human domination of Earth's ecosystems.' Science 25 July (494–9).

Vries, Jan de. 2008. The Industrious Revolution: Consumer Behavior and the Household Economy, 1650 to the Present. Cambridge, Cambridge University Press.

Wallerstein, Immanuel M. 1974. The Modern World-System: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. San Diego, Academic Press.

Wallerstein, Immanuel M. 1980. The Modern World-System II: Mercantilism and the Consolidation of the European World Economy, 1600–1750. San Diego, Academic Press.

Wallerstein, Immanuel M. 1989. The Modern World-System III: The Second Era of Great Expansion of the Capitalist World-Economy, 1730–1840s. New York, Academic Press.

Weber, Max. 1927. General Economic History (translated by Frank H. Knight). London, George Allen & Unwin Ltd.

Weber, Max. 1997. The Theory of Social and Economic Organization. New York, The Free Press. White, L. A. 1943. 'Energy and the evolution of culture.' American Anthropologist 45 (335–56).

White, L. A. 1959. The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome. New York, McGraw-Hill.

White, L. A. 1975. The Concept of Cultural Systems: A Key to Understanding Tribes and Nations. New York & London, Columbia University Press.

Wills, Christopher. 1999. Children of Prometheus: The Accelerating Pace of Human Evolution. New York, Basic Books.

Wolf, Eric R. 1966. Peasants. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall.

Wolf, Eric R. 1982. Europe and the People without History. Berkeley, University of California Press.

Yasuda, Yoshinori. 2002. The Origins of Pottery and Agriculture. New Delhi, Lustre Press & Roli Books.

Zalasiewicz, Jan. 2008. The Earth After Us: What Legacy Will Humans Leave in the Rocks? Oxford, Oxford University Press.

Zalasiewicz, Jan & Williams, Mark. 2012. The Goldilocks Planet: The Four Billion Year Story of Earth’s Climate. Oxford, Oxford University Press.

推荐阅读书目

Bellwood, Peter. 2005. The Origins of Agricultural Societies. Oxford, Blackwell.

Cavalli-Sforza, Luigi Luca. 2000. Genes, Peoples, and Languages. New York, North Point Press.

Crosby, Alfred W. 1993. Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe,900–1900. Cambridge, Cambridge University Press (1986).

Diamond, Jared. 1997. Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies. London, Jonathan Cape.

Harris, Marvin. 1997. Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology. New York, Longman.

McNeill, J. R. 2000. Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth Century World. London, Penguin Books. McNeill, J. R. & McNeill, W. H. 2003. The Human Web: A Bird’s-Eye View of World History. New York, W. W. Norton & Co.

Ponting, Clive. 1992. A Green History of the World. Harmondsworth, Penguin Books.

Simmons, I. G. 1994. Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History. Oxford, Blackwell (1989).

[1] 本章使用的科学数据来自考古学及多种历史学研究。

[2] 出生在意大利的美国遗传学家路易吉·路卡·卡瓦利-斯福扎（Luigi Luca Cavalli-Sforza，1994 & 2000）是研究基因变化的为伟大先驱之一，他和他的学生，美国遗传学家斯宾塞·威尔斯（Spencer Wells）通过研究和著述，确立了当前被广泛接受的观点，即在过去的5万年间，人类曾在全世界范围大规模迁徙。很有可能的是，目前对人类基因的深入研究将会在很大程度上廓清人类文化与基因变化在过去1万年间相互作用的机制。据我所知，目前唯一意在全面梳理人类基因与文化构成之间关系的学者是哥伦比亚工程师安东尼奥·菲立兹（Antonio Vélez，2007, 2013）。此外，还有两部颇有争议的著作也是关于过去1万年人类基因变化的，即Wills（1999）和Cochran & Harpending（2009），两部著作都认为人类文化加速了人类的生物进化过程。

[3] 据我所知，亚历山大·冯·洪堡是最早采用这一研究思路的学者。可同时参阅Chambers (1994); White (1943, 1959 & 1975); McNeill (1976); Darlington (1969); Tainter (1988); Smil (1994); Lapperre (1997); Diamond (1997); Spier (1992, 1996 & 2005); Allen, Tainter & Hoekstra (2003); McNeill & McNeill (2003); Christian (2004); Crosby (2006); and Burroughs (2006)。

[4] 诺伯特·埃利亚斯特别强调人类历史并非是有意安排的过程，此后又有约翰·古德斯布洛姆等也曾强调这一点。

[5] 有关原文的英语译文，参阅Caesar（1984）。笔者觉得有这样一种可能，即这里恺撒所叙述的并非他对事件本身的真实想法。也许该文本并非出自恺撒之手。也有可能是恺撒先记下，后来又被人修改了。总之，历史文本都有这类问题。但即使真实情况与恺撒的记述有出入，恺撒的记述本身仍代表了真实事件发生的一种可能性。

[6] 笔者是在2007年4月12日在下面的网址发现这一段（我认为非常精彩）总结性文字的：http://sights.seindal.dk/sight/766_Julius_Caesar-3.html。文本可能出自丹麦科学家勒内·塞因达尔（René Seindal），他精通多种学科的知识。

[7] 威廉·麦克尼尔2007年11月30日写给笔者的信。

[8] Niele (2005), pp. 51..

[9] Budiansky (1992).

[10] 可参阅Cohen (1977); Reed (1977); Redman (1978); Heiser (1990); Renfrew &Bahn (1991); Budiansky (1992); Fiedel (1992); Cunli.e (1994); Simmons (1994);Sanderson (1995); Smith (1995); Piperno & Pearsall (1998); Yasuda (2002); Bellwood (2005); and Burroughs (2006)。

[11] 可参阅Lewis (1972); Cohen (1977), pp. 21-27; Fiedel (1992), p. 168; Harris (1990, 1996); Reed (1977); and Smith (1995), pp. 16-18。

[12] 1992年，澳大利亚科学家Spriggs, Wickler与Loy在所罗门群岛发现距今28,000年前的远古人类工具上有驯化的芋头菌株的痕迹，而英国考古学家戈登·希尔曼（Gordon Hillman）也在埃及的瓦迪·库巴尼亚（Wadi Kubbaniya）遗址发现了距今18,000年至17,000年之间的磨石与植物块茎，参阅Dayton (1992), p. 14; Loy, Spriggs & Wickler (1992); and Harris & Hillman (1989)。2009年，Kuijt与Finlayson发表了其有关约旦达拉（Dhra）村采集狩猎者逐渐演变为农耕者的长期研究成果。众所周知，农耕生活方式并非人类独有的发明。比如，蚂蚁也会在窝里培植真菌，可参阅Mueller, Gerardo, Aanen, Six & Schultz (2005)。

[13] Pringle (2007); Firestone, West, Kennett et al. (2007); Kennett, Kennett, West et al. (2009); van der Hammen & van Geel (2008).

[14] 比较Gamble in Cunli.e (1994), p. 18以及Wright Jr. in Reed (1977), pp. 281-318。

[15] Smith (1995), p. 211.

[16] Harris (1990).

[17] Piperno & Pearsall (1998).

[18] Burroughs (2006), p. 191 & p. 193.同时参阅Hillman, Hedges, Moore, Colledge & Pettitt (2001)。

[19] 英国考古学家安德鲁·谢拉特曾阐述过动物除了作为人类食物之外的重要用途，他将这一用途称作“次级产品革命”（secondary products revolution，1981）。

[20] Crosby (1972, 1993 & 2006)。1998年，美国科学家贾雷德·戴蒙德在其《枪炮、病菌与钢铁》（1997）一书中雄辩有力地陈述了这些观点。不过这一洞见其实早就有人提出过。英国遗传学家西里尔·达林顿（Cyril Darlington）在其《人与社会的进化》（The Evolution of Man and Society, 1969）一书的第70—71页和第578—582页均提到这一点（贾雷德·戴蒙德由此得到一些启迪），而在此前，亚历山大·冯·洪堡在《宇宙》（1997）一书的第294页也提到过。

[21] Roberts (1998), p. 136.

[22] 人口数字由美国人口统计局来自2014年3月公布，www.census.gov/population/ international/data/worldpop/table_history.php. 当然这些数字只是大致的估算。

[23] Wolf (1982), pp. 88..

[24] Mann (1987), pp. 39..

[25] Smith (1995), pp. 211-212.

[26] 有关秘鲁安第斯山脉地区大摆筵宴的情况，可参阅Spier (1995)。有关一般性讨论，可参阅Wolf (1966)。

[27] 这一观点来自Allen, Tainter & Hoekstra (2003), pp. 61.。

[28] 诺伯特·埃利亚斯在其著作Time: An Essay (1992)中曾详细讨论时间作为文化概念的演进过程，该书1982年最初以荷兰文发表，是迄今笔者所读过的有关这一专题的著述中最透彻的。

[29] 有关内部自律与外部制约的平衡问题，参阅Elias (1982), pp. 229-333。

[30] 有关农业宗教的兴起，可参阅Goudsblom, Jones & Mennell (1996), pp. 70-78; McNeill (1963), pp. 18-22 and pp. 33-40; Elias (1992); and Spier (1994 & 1996)。

[31] 比较Spier (1994)。

[32] 有关秘鲁安第斯山脉地区的运作实例，参阅Spier (1995)。

[33] 人类学家可能会觉得采集狩猎社会虽然规模很小，但具备多种功能，所以要比农耕社会更复杂，彼此之间的关系也更广泛，但全面看来，笔者还是认为农耕社会要更复杂些。

[34] 有关农民在欧洲范围的迁徙与采集狩猎者在欧洲采纳农耕生活方式之间的关系，参阅Burroughs (2006), pp. 204-207。

[35] 笔者在秘鲁安第斯山脉地区研究农村生活时就观察到这种情形，参阅 (1994 & 1995)。

[36] 可参阅Rathje & Murphy (1992), pp. 32-33。

[37] 可参阅Simmons (1994), pp. 14-27。

[38] 可参阅White (1959), pp. 45-57; Cohen (1977); Redman (1978); Heiser (1990); Budiansky (1992); Fiedel (1992); Simmons (1994); Sanderson (1995); Smith (1995); Mears (2001); Christian (2004); and Bellwood (2005)。

[39] 参阅McNeill (1976) and Swabe (1998)。传染病也可能是由人传染给动物，肺结核即为一例，参阅Hershkovitz, Donoghue, Minnikin et al. (2008)。

[40] Cook (1971), p. 136. 库克的数据采用的单位是千卡 /24小时，笔者据此进行了重新计算：设1卡 = 4.19焦耳，则1,000千卡 /24小时 = 48.5瓦。假定采集狩猎者的平均体重为40公斤，由库克的数据得知其功率密度为3瓦　/千克。这与蔡森的计算（2瓦　/千克）颇为相近，后者假定人均体重为70公斤（笔者认为有些偏高）。如果将库克和蔡森设定的体重折中一下，二者的结果几乎完全一致。另可参阅Simmons (1994), p. 24, and Bennett (1976), pp. 42-43。

[41] 参阅Weber (1997), p. 154, and Elias (1978 & 1982)。

[42] 比较McNeill (1976 & 1984) and Crone (1989), pp. 39-40。

[43] Carneiro (1970, 2012). 如本书第一章所述，这种观念的历史要悠久得多。早在1844年，罗伯特·钱伯斯已经提出：文明只是在相当有限的条件下才能发生，见 (1994), pp. 300-304。

[44] 参阅Kennett & Kennett (2006)。

[45] 有关宗教在早期国家中重要作用的社会学讨论，可参阅Goudsblom in Goudsblom, Jones & Mennell (1996), pp. 70.., and Mann (1987), pp. 45-49。

[46] Fagan (1999, 2000, 2004 & 2008).

[47] 可参阅Fagan (1999, 2000, 2004 & 2008) and Geel, Bokovenko, Burova et al. (2004)。

[48] 有关贸易方面的情况，可参阅菲利普·柯廷（Philip Curtin）1984年的研究；另可参阅Curtin (1994)。

[49] Anderson (1991).

[50] McNeill & McNeill (2003), p. 7.

[51] McNeill (1976), pp. 6..

[52] Sprague de Camp (1993), p. 372 and p. 13.

[53] Mumford (1961), p. 75.

[54] Rathje & Murphy (1992), pp. 34-35.

[55] Rathje & Murphy (1992), p. 35; Blegen (1963); and Gunnerson (1973).

[56] 比较McNeill (1998)。

[57] Sprague de Camp (1993), p. 147.

[58] Niele (2005), pp. 65..

[59] 可参阅McNeill (1963 & 1984)。

[60] Christian (2004), pp. 389..

[61] 有关印刷术的重要作用，可参阅Eisenstein (1993)的精彩著述。

[62] 可参阅Sanderson (1995), p. 175。

[63] Flynn & Giráldez (1995, 2002, 2008), von Humboldt (1822).

[64] 可参阅Crosby (1972 & 1993) and Flynn & Giráldez (1995, 2002 & 2008)。有学者不时提出，早期从事全球贸易者所能携带的货物与今日的集装箱货运量相比要小得多，可参阅Emmer (2003)。因此，其实际影响可能非常有限。但不要忘了，其携带的货物，比如植物、种子和动物，都是可以“成倍”(multipliers)增长的，或在人的指导下品种有所改进，或又逃回到荒野中，其数目远高于货船上所载的货物数量。

[65] 相关论述，可参阅Weber (1927), p. 337; Wallerstein (1974, 1980); and Allen, Tainter & Hoekstra (2003), pp. 140.。

[66] Allen, Tainter & Hoekstra (2003), p. 148.

[67] Crosby (1997).

[68] 可参阅Snow (1988) and Menzies (2002)。

[69] 有关科学革命的著述非常之多，但笔者认为最好的一种是荷兰科学史家弗洛里斯·科恩（Floris Cohen，2010）的著作。

[70] Von Humboldt (1995), pp. 74-75。有关机械发明之前石油在中亚地区的各种用途，可参阅相关综述Bilkadi (1995)。

[71] 有关早期工业化，近几十年的学术文献既多且杂，主要探讨的问题是为何工业化未能在其他地区或其他时代起步。所以这里的叙事不可能详尽无遗。可参阅De Vries (2008); Fieldhouse (1973); Hobsbawm (1968); Landes (1969 & 1998); Pollard (1992); Smil (1994); Stearns (1993); and Wallerstein (1989)。中国之所以未能率先实现工业化，其中一个主要原因是中国的煤炭储量大多在中西部地区，远离东部干燥的城市中心地带。在干燥的环境下开矿钻煤容易造成大型火灾，其中有些地方已经燃烧了数个世纪。另外，那里的矿井里没有多少水，也就不会刺激蒸汽机的发明。1998年4月，在出席美国加州斯托克顿举办的“约翰·缪尔-太平洋世纪”（John Muir Paci.c Centuries Conference）学术研讨会上，我曾当面跟美国历史学家彭慕兰（Kenneth Pomeranz）指出这一点，后来他在《大分流》（The Great Divergence: Europe, China, and the Making of the Modern World Economy，2000）一书中采纳了这一观点。

[72] Livi-Bacci (1992), pp. 100-101.

[73] 安第斯山脉地区传统宗教出现全球化，首先得益于秘鲁人类学家胡安·普拉多（Juan Víctor Nú.ez del Prado）的努力。可参阅Jenkins (1997)。

[74] International Energy Agency (2013), downloaded from www.iea.org. 为便于和前述数字做比较，这里将单位转化为人均瓦数，并同时参照了其他表单中的数据。有趣的是，该统计数据集里根本没有布隆迪等贫穷国家的数据。根据国际能源机构的说法，1石油当量（toe）等于1公吨（1,000千克）原油中储藏的能量，合107千卡、41.868千兆焦耳，或11,628千瓦小时（kwh）。故，1石油当量 /秒 = 1.33×103瓦。

[75] 笔者曾计算过荷兰风车的功率密度，当时使用的风车净重60,000千克，15年后该风车被运到了美国，在密西西比州的富尔顿重新装机。根据几家荷兰的网站介绍，这种风车的平均输出功率约为10,000瓦。航天飞机发动机的功率密度使用了NASA官网提供的数据。有关现代德国风车的功率密度值，笔者当初也是参照了一家德国网站的数据，但该网站现在已经找不到了。

[76] Tre.l (1994)是从能量使用的角度分析城市生活的一部精彩论著。

[77] Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events (2008).

[78] 参阅Trivedi (2007)。有关人类对地球生态环境影响的精彩概述，可参阅Ponting (1992) and McNeill (2000)。

[79] 可参阅Diamond (1987); Leakey & Lewin (1995); Vitousek, Mooney, Lubchenco & Melillo (1997); and Zalasiewicz (2008)。

第八章
面向未来

我们努力飞向太空，却因此对地球有了新的认识。我们在太空透过摄像机镜头看到了整个星球——漂浮在一望无际的空灵与黑暗之上，就像一个五彩的东方灯笼。不过是一盏灯笼！地球母亲再不会回到从前的模样。我们这些有思考能力的人再不会将这小小的星球看作是人类可以挥霍无度、恣意享用资源、只要索取便能永远得到慷慨回馈的所在，虽然它是那么丰盈和美丽……地球虽有几分韧性，但却是有限的，是我们这一物种实现永续生存的全部家当。

——美国地质学家普雷斯通·克劳德（Preston Cloud）：《宇宙、地球与人类：宇宙简史》（*Cosmos, Earth, and Man: A Short History of the Universe*，1978，p. 285）

引言

学习从万物之初至今的大历史，难免让人联想未来会是什么样子。事实上，许多大历史学家至少部分是因为他们对未来的不稳定充满担心，所以才转而书写更长时段的历史的，比如普雷斯顿·克罗德（1978）、埃里克·蔡森（1987）、于贝尔·雷弗（1986 &1991）、大卫·克里斯蒂安（2004）、辛西娅·布朗（2007）等都莫不如此。大历史可谓当前未来研究热潮的一部分，甚至美国前副总统艾尔·戈尔（Al Gore）也曾撰写了一部名为《未来》（*The Future*,2013）的精彩著作，或为一显例。

笔者在此不可能对上述所有研究都加以讨论或对所有可能的前景做出总结，包括目前在全世界范围内正发生的日益加剧的对自然资源的争夺，并由此导致了社会形势趋于紧张。此外，无论从短期还是从长期看，我们均可以期待未来会出现更多的技术变革，从信息技术到基因改造再到纳米技术。所有这些发展都有可能造成重大的社会变革（反之亦然）。正如伴随工业的崛起在工业化国家之间爆发了两次世界大战一样，当前的信息化浪潮也刺激了以信息技术为基础的全球范围的竞争。不过，与先前的战争相比，通过互联网收集信息的努力迄今倒没有造成多少伤亡。但事情总可能会发生改变，因为现在越来越多的国家和集团都在准备发动进攻或积极防御。这种战争一旦爆发就更具威胁性，因为电子网络遭到严重干扰会给人类带来重大灾难，因为人类对电子网络已变得高度依赖。

与此同时，计算机变得愈发强大，大有取代人类大脑之势，而这会导致社会中大批劣势人群失去工作和收入，也就从此得不到能流维持其自身的复杂性。目前，许多国家内部都出现收入分配日益不平等的现象，正是上述趋势的一个表征，而在国际间，却因为有了全球计算机网络，使得经济上优势不多的国家也可与富国在全球范围竞争成功。美国发明家雷·库兹韦尔（Ray Kurzweil，1948— ）在其《奇点临近——当计算机智能超越人类》（*The Singularity In Near: When Humans Transcend Biology*,2005）一书中称，计算机很快会变得异常强大并战胜人脑，而由此会导致各式各样的社会与技术变革。正是基于这些观念，俄罗斯巨富企业家德米特里·伊茨科夫（Dmitry Itskov，1981— ）目前正资助一

项很特别的研究，目的是截至2045年，能够把他的整个大脑运行机制全部上传至电子计算机，这样，只要确保计算机的电源不断，他就可以在硅片上实现永垂不朽。

目前正在进行中的植物基因改造已导致少数全球企业试图垄断种子生产。新作物不仅产量高，而且对农作物害虫和抑制对手生长的除草剂有更强的抵抗力，至少在短期内能够做到这一点。然而，这类作物和除草剂可能对人的健康有长期的不良影响，只是究竟有什么不良影响现在还难以确认。纳米技术是另一个迅速发展的技术领域，而这种技术也可能会干扰大自然本来的运行方式，不管是有意还是无意的。当然，这些只是大家所熟知的少数几个例子，由此不难预见未来可能的发展方向。

不过，笔者在本章不打算讨论类似上述具体的发展势态，而把重点放在人类史与宇宙万物共同发展的主题上，此景既明，自然为人们瞻望未来的发展提供一个有益的框架。如果说在整个大历史的进程中，复杂性的兴起与消亡只是由于能在适宜的金凤花条件下流过物质，我们则有理由认为，这一原理将同样适用于有关未来发展的任何预测。因此，笔者对未来全部预测均是基于这一原理。

不过，在踏上预测之旅之前，我们有必要了解一下预测未来必须清楚的几个问题。首先，我们手里并没有未来的数据。因此，从经验科学的观点看，我们不可能知道未来会发生什么。但同时，人类的一切努力都必然具有一定的前瞻性，因为我们的行为要受期待中未来结果的指引。所以，尽管未来预测可能不可靠，差不多所有人都关注未来。

因为未来学是一门缺少数据的科学，所以哪怕最准确的科学未来描述也只能是几种相对可信的未来前景。也就是说，要由你自己选择哪种情境最有可能成真。当然，要做到这一点就必须对全部历史有透彻了解。其实，在历史上，未来从未完全脱离此前发生的事情，所以，今天可见的主要趋势很有可能会延续至将来。比如，我们说明天太阳还会升起，就很有可能是成功的预测。

我们在选择未来可能的情境时，还必须认识到：其实根本不存在完全稳定可靠的趋势。事实上，我们可以看到各种可能的变化。有些变化或多或少是周期性的，因为它们常与宇宙周期有关。昼夜的节奏和季节的变化是这种周期性变化的最常见的例证（尽管周期本身也会有一些变化）。此外，还有各种非周期性的变化。比如当今，对我们而言也许很明智的做法，是为未来化石燃料的枯竭以及由人类行为招致的气候变化效应做好准备。基于这种科学的洞察，我们或许能够为此制定一个大致的时间路线图。

除了已知的各种趋势之外，还有另外一种趋势存在，后者被美国前国防部长唐纳德·拉姆斯菲尔德（Donald Rumsfeld，1932— ）称作“已知的未知”（known unknowns）。例如，后者包括新型传染病突发、地震和火山爆发、剧烈的太阳耀斑、陨石撞击等，甚至还包括附近的超新星爆炸。作为重要能源来源的核聚变开发可能也属于这一范畴。这种发展趋势被称作非线性过程，也就是说在今天看来很小的事件可能会在未来某个时候产生重大影响。我们知道这种事情可能会发生，但却不知其何时发生、怎样发生，以及会产生什么样的效应。

最后，还有一类“未知的未知”（unknown unknowns），即有些事件，就连其是否有可能发生我们也无从知晓，所以一旦发生，对人类而言纯属意料之外。但这类事件在不可知的未来可能对人类产生相当大的影响。工业革命就是此类发展的一个例证。即便在17世纪，也根本不会有人想到——如果真有这样的人的话，在未来的几百年内，人类社会将在化石燃料驱动的机器的帮助下运转。同理，也许哪一天人类会发明某种新式的获取能量的方法，而这种方法对现在的人们来说还完全不知道。因为这种发展是完全不可知的，所以我们对未来的预测不包括这种情况，但我们在对未来进行预测时要记得还有这种可能性。

此外，人类的行为，作为对未来情景的一种反应，也会造成反馈循环，从而改变预期的结果。比如，人类是否有能力建构一种能够把二氧化碳排放限制在某种安全水平的体系呢？在化石燃料耗尽之前，人类是否有能力找到足够的新能源？这种趋势很难预测。还有一种可能性：即目前尚不可预见的人类行动也可能会改变事件的进程，或者由于人类干预而出现某些不可预见的问题。所有这些都使得有关人类未来的预测困难重重，尤其是在细节方面。

在所有关于未来情境的预测中，有一个特别突出的特点，即人类对未来最感兴趣的总是那些他们感到不确定的方面。比如，你预测明天太阳会照样升起，就不会有任何人买你的账，但大多数社会却会雇佣专家预测明天的天气如何，因为这类信息对人类指向未来的行动计划非常重要。虽然经过过去的几十年，天气预报已变得更加精确，但仍有许多领域的未来还不是很确定，比如全球经济的现状究竟如何？于是就出现了各式各样的针对未来的预测。

在人类史的大部时期，甚至在整个人类史上，都会有一些专家声称自己拥有鲜为人知的针对未来的知识，而且愿意以一定的价格分享。比较有名的如古希腊时期的德尔斐（Delphi）神谕。其实，世界各地都有处于不同层面的发表类似神谕的体系存在。时至今日，在全世界所有社

会中，都有专家们声称自己拥有有关未来的特殊知识，有的基于科学，有的基于非科学，谁要分享都得付费。

现在，让我们回到有关未来预测的话题。如前所述，大历史本身已经分辨出几种重大的长期趋势。为预测未来的长期趋势，我们先思考一下最长远未来的图景，即整个宇宙的命运问题。

美国天体物理学家弗雷德·亚当斯（Fred Adams，1961— ）和格雷格·劳克林（Greg Laughlin，1967— ）在《宇宙五纪元：隐藏在永恒物理定律之中》（*The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*）一书中对宇宙的未来进行了清晰的瞻望。他们的分析基于如下假定：宇宙在暗能量的作用下将会继续膨胀，且再没有足够的物质引力将宇宙拉回到黑洞状态（big crunch）。此外，他们还假定：从长期看，最基本粒子，即质子、中子和电子，也不会保持稳定，而会衰变为低能量的形式。

因为宇宙还会继续存在很长的时间，所以就需要非常大的数字来描述其前景。为便于计算，亚当斯和劳克林引入了一个“宇宙十年”（cosmological decade）的概念，记作10^x年，其中x表示具体第几个宇宙十年。这是一种指数尺度，就是说数字会迅速变大：下一个宇宙十年是前一个宇宙十年的10倍。所以尽管第一个宇宙十年只不过十年，第二个宇宙十年也只有100年，但到了第11个宇宙十年，就已经长达1,000亿年了，也就是我们现在生活的宇宙十年，即宇宙演化开始后的第138亿年。

根据亚当斯和劳克林的说法，我们现在生活在第二个纪元，他们称之为“繁星期”。这一时期将会持续到第14个宇宙十年，届时恒星将不再具备生成的条件，因为星系中的氢云团将丧失殆尽。因为只有恒星才能驱动我们所熟悉的复杂实体，这就意味着我们所知的生命只是在这一时段才有可能出现。这就引出了一个必然的结论：我们人类的存在与年轻且充满活力的宇宙紧密相关。然而，早在第14个宇宙十年到来之前，也就是从今日始大约50亿年后，我们的太阳将耗尽其燃料并将停止燃烧。这将意味着太阳系中大部分甚至全部的复杂实体都将走向终结。从现在起20亿至50亿年后，我们的星系将与最近的邻居仙女座（Andromeda）星系相遇，而且这两个星系有可能最终合并。

第14个宇宙十年之后，整个宇宙将进入“衰退期”（Degenerate Era），此后是第35个宇宙十年的“黑洞期”（Black Hole Era），最后是第131个宇宙十年的“黑暗期”（Dark Era）。这些命名已经说得非常明白，届时更复杂实体形成的条件将越来越差，因为宇宙行将用尽所有的

能量。也就是说，宇宙将经历一个逐步简单化的过程。所以即使宇宙还会继续存在，其生成我们今日所知的复杂实体的条件已经不存在了，因为宇宙的能量最终将完全枯竭。至大约第1,000个宇宙十年，看来好像离我们特别遥远，宇宙中所有的物质也会最终消失，因为所有的基本粒子，包括质子、中子和电子，都会出现衰变。从此以后，整个宇宙中除了低水平能量之外将一无所有，也就是说宇宙复杂性最终会结束。

如果这种宇宙情境的预测是正确的，那么目前宇宙中的复杂性只不过是漫长宇宙史上一个早期、短暂且几乎不可避免的阶段，它始于大爆炸后不久物质和能量的涌现，并将终结于物质的最终衰变（也就是最大程度的无序或熵）。虽然目前复杂性的涌现不过是大量随机效应的结果，但其涌现过程却是高度结构化的。在过去的星系、恒星、行星和小天体形成的138亿年中，物质和能量被锁定在依赖更高复杂性的路径上，这是多种强劲的自然力决定的。

随着时间的推移，恒星和行星都将耗尽能量并因此失去自身较高的复杂性，而从更长远看，二者最终将完全消失。显然，物质和能量只有在宇宙还年轻时才能得到充足供应，同时在与多种自然力达成平衡的情况下产生相应的金凤花条件，此时出现更复杂的实体也就无可避免了。

地球与生命的未来

如果太阳系没有被附近的超新星爆发破坏掉，或因为与仙女座星系在未来的20亿到50亿年这段时间里合并而毁灭的话，我们自然可以说生命的未来与太阳的命运紧密相连。太阳的寿命从现在起大约还有50亿年。在这期间，太阳会变得更热、更明亮，这样地球的表面大约在30亿年后就会被完全蒸发掉。而在此之前相当长的一段时间，由于太阳辐射的增加，地球上的生命早已不在。在太阳寿命的最后阶段，整个星体会急剧膨胀，其边界甚至会到达当前水星的轨道附近，此时强烈的辐射可能会把整个地球表面融化。那时的生命体将完全无法在地球上生存，但可能会继续在环绕其他行星的卫星上存在。

这就是说，地球上的生命可能还有不到20亿年的光阴，即寒武纪生命大爆发至今约四倍的时间。在此期间，外来的太阳能将持续增加，而来自地球内部的核能会持续减少，从而造成板块构造过程不可避免地减缓。由于板块构造是地球系统循环中的一个重要环节，所以一旦在某个时间点停了下来，那么生命体制造出的垃圾会出现大量堆积，甚至到目前无法想象的程度，其后果自然也无法预料。但我们现在还不清楚板块构造过程会在什么时候停顿。

因为物质和能量在未来的数百万年还将大量存在，所以我们还是有理由假定地球上的生命前景光明，尽管目前人类正制造一场生命的大灭绝事件。不过从长远看，人类继续充当地球的管家可能不会超过几百万年的时间，甚至比这还要短得多，因为那时整个人类物种已经灭绝了。类似人类这样的复杂物种，其平均寿命大致也就是几百万年。[1]不过也许是出于具备杰出的能力，人类可能活得比这还要更长一些。正如下文要讨论到的，这就需要我们在使用自然资源方面达成更好的生态平衡。但无论如何，从更长远的角度看，人类可能还是会从地球表面消失，在这之后，生物进化可能会造就出无数新的生命形式，其中有些我们甚至还无法想象，而其他众多的生命形式将最终灭绝。

人类的未来

因为我觉得大多数人对我们人类这一物种的未来最感焦虑，所以本章余下的部分专门谈这个问题。人类的命运与尚可利用的物质和能量密切相关，这一点并不奇怪，也不是特别新颖。20世纪70年代，曾有很多人著书立说都强调这一观点。然而，在接下来的数十年里，这一显而易见的认知却先是遭人质疑，然后几乎被人遗忘了。幸运的是，在笔者撰写本书的那几年，人们对能源的研究再度勃兴。究其缘由，这很有可能是——至少是部分地——由于2008年能源价格的急剧上涨，以及越来越多的人意识到我们将很快耗尽不可再生能源。2009年春季，美国《国家地理杂志》特别策划了一期专刊，主题就是“明日能源”（Energy for Tomorrow），而此前一年，英国科学家大卫·马凯（David MacKay）发表了专著《可持续能源：事实与真相》（*Sustainable Energy-without the Hot Air*），可谓能源研究再度兴起的例证。因此，下述许多有关人类未来的建议很快就会成为人人皆知的常识。

我们先回顾一下二十世纪七八十年代达成的有关能源的一些见解。这些见解均可谓从“地球升起”视角审视人类及所谓（第一次）能源危机的直接结果，之所以出现能源危机是因为1973年赎罪日战争（或斋月战争）结束后，阿拉伯国家拒绝向北大西洋诸国提供足够的石油，因为后者在战争中支持以色列。那时，许多人开始意识到，人类将很快用尽储存在生物分子中非常有限的太阳能。[2]例如，1971年，美国能源专家M.金·休伯特（M. King Hubbert，1903—1989）因其石油峰值理论而声名鹊起，他对当时的能源状况总结如下：[3]

> 生活在当今时代的人们已经习惯了化石能源消费的稳步大幅增长，所以他们很难认识到这一问题，即从更为长远的人类史视角视之，化石燃料时代会是多么的倏忽短暂。要更好地认识这一问题，至少要具备1万年的视野，一半用来审视过去，另一半用来展望未来。在这样的时间尺度上，全世界范围的化石能源使用就呈现出一个完整的周期，前后大约持续1,300年，而这一周期最主要的阶段（即除去最初10%和最终10%的石油开采和消费）才不过300年左右的时间。

同年，美国科学家霍华德·T.奥德姆（Howard T. Odum，1924—2002）也发表了自己的观点，特别强调能源对生成复杂实体的重要性：[4]

> 大多数人认为，人类发展到现代工业时代，是因为人的知识与创造力无限。其实这是非常危险的部分真理。所有的进步实际上都要归功于人类获得的特殊能源补贴，没有了能源补贴，所谓进步就会烟消云散。知识与创造力是在有了能源补贴之后辅助消费的手段，甚至知识的开发和保有也取决于是否有能源供应。

早在20世纪70年代初，人们就清楚地认识到，将来一旦出现化石能源匮乏，就会造成很大的问题，加之，人类还可能在制造更多污染的同时消耗尽其他稀缺资源。换言之，问题在于我们是否还有足够的物质和能量来制造我们想要的复杂实体而不至被淹没在同时产出的熵之中。

据我所知，第一部试图在全球尺度上模拟人类能源现状的专著是1972年出版的《增长的极限：罗马俱乐部有关人类困境的报告》一书，这本书甚至到现在还是同类中最好的。从事该项研究的由美国系统管理学家丹尼斯·梅多斯（Dennis Meadows，1942— ）牵头的一个跨学科的研究团队，全面的研究在麻省理工学院展开，该书系此项研究的最终成果。这本书非常有影响，实际上为公众讨论定下了基调。梅多斯团队创建了最早的——如果称不上是第一个的话——基于地球系统的计算机模型之一，其中物质、能量和熵扮演着重要角色。

该模型有五个主要的变量：人口、资源（包括能量）、人均粮食生产、人均工业生产和污染。这些变量与可信的反馈循环联系在一起。根据所谓标准模式的预测，虽然关键资源一直在减少，但在2020年前后，粮食及工业产品产量都将达到峰值，而后将趋于下降，后者是由自然资源的枯竭及日益严重的污染联合导致的。工业生产放缓会导致污染的减少。世界人口至2070年将达到峰值，而后由于缺乏多种资源发生崩溃。

在人们动辄标榜“进步”的时代，上述当然不是一个令人愉快的信息。于是研究人员又添加了另外一些假设，如1975年世界人口会趋于稳定，或假设资源无限，随后输入计算机模型。在无论是哪一种情况，最后结果都是崩溃。最后，研究人员又去寻求其他方法来解决稳定世界体系的问题，可结果大多还是负面的。通过研究发现，研究人员提出了一系列尖锐的结论和建议，以帮助建设一个更可持续的世界。研究人员非

常谨慎地陈述自己的结论，因为他们非常清楚，现实世界比模型要复杂得多，甚至有许多方面根本无法精确测量，更无法用数字表达。

颇有意思的是，麻省理工学院研究人员选择的变量几乎与本书所倡导的理论方法完全一致。我很好奇：为什么把这些原则应用到历史研究上竟花了那么长的时间？这可能源于以下事实：即使在今天，也很少有社会科学家和历史学家愿意系统地思考这些问题，因为他们觉得自己的研究领域关乎更高端的文化问题，而不屑于这种世俗的考虑。不过，未来的发展会证明他们想错了。

但无论如何，《增长的极限》刺激了大量相关研究，并造成一个新兴的学科领域，名为“环境研究”（environmental studies）。不用说，由世界环境与发展委员会（WCED）推出的《我们共同的未来》（1987）报告是日益增长的环境意识的一个直接结果。[5]这份报告又称布伦特兰报告（Brundtland report），以该委员会主席的名字命名，其中提出了著名的“可持续发展”（sustainable development）的定义，即“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”。这一定义有些含糊不清的地方，因为谁都不能确切说出后代人要得到什么才能满足自己的需求。不过，如果后代人需要的正是我们当今所熟悉的资源的话，那么这一界定实际上对人类提出了重大挑战。

有趣的是，美国宇航局（NASA）曾深受上述发展的影响。比如，1975年，美国宇航局局长的詹姆斯·弗莱彻（James Fletcher，1919—1991）在官方出版的阿波罗登月计划总结报告的序言中曾这样写道：[6]

> 节约使用地球有限的资源，开发地球的能源供应，养活地球上的数十亿人，保护好环境，控制好人类手里的武器，这些都是我们必须面对的问题。如果人类能带着阿波罗号成功的热情、动力和献身精神去面对上述问题，那可能是阿波罗号最无价的遗产了。

我们还是回到《增长的极限》一书。虽然该书在出版后的几年里遭到多次多角度的批判，但其主旨却仍然是正确的，尽管从短期的视角看，其中有关人类将耗尽稀缺资源的建议时间跨度可能有些悲观。根据澳大利亚科学家格雷厄姆·特纳（Graham Turner）2008年发表的一项研究，过去30年的实际发展与《增长的极限》中的标准模型预测颇为契合。[7]这倒不是说《增长的极限》中的后续预测也将一一变成现实。但鉴于其当时相当粗糙的计算机模型成功预测了过去30年的发展，慎重对

待报告中预测的长期发展趋势看来是明智的。

尚可利用的物质和能源

从热力学的观点看，稀缺资源之所以稀缺，是因为地球上只有很少一些地方有相对集中的矿藏，所以对人类而言可称之为有用。但在其他许多地方，这种资源的存在既稀且少。假如我们有无限量的廉价能源，我们当然就能够充分集中上述稀缺资源。在这种情况下，只要我们能够摆脱上述努力产生的熵，就没有什么资源是真正稀缺的。[8]这就是说，能源和其他资源的供应是紧密相连的。比如，假如我们有能力以低廉的投入提纯海水并将其输送到如何需要水的地方，那么淡水在如何地方就都算不上是一种稀缺资源。

地球上生活的人越多，就需要更多的资源。从这个角度看，最重要的是要控制人口数量。如果世界人口增长失控，我们就不可能在不经历深度社会经济创伤的情况下过渡到生态平衡的生活方式。人口增长超过自然资源供给是人类面临的一个主要威胁，事实上，早在1798年，英国学者托马斯·罗伯特·马尔萨斯（Thomas Robert Malthus，1766—1834）在《人口学原理》（*An Essay on the Principle of Population*）一书中就曾指出这一问题。幸运的是，全球人口增长似乎很自然地趋于平缓，至2050年达到100亿至120亿人的顶峰，然后开始下降。这一趋势似乎与日益增长的城市化有关。在城市里，抚养子女的花费很高，因为子女们在经济上长期没有贡献。大多数甚至所有城市出现增长，通常都是由农村人口迁移而来，农村的孩子们很早就为经济做出了贡献。此外，城市常常是疾病丛生的地方，这一点也抑制了城市人口的增长。近年来，越来越多的城市妇女加入公共就业，也有助于实现人口平稳发展的趋势；普遍养老金制度的引入使父母不再直接依赖子女（可以多种方式）养老，这一点也减少了生育的必要。

因此，这里最关键的问题似乎是：在不远的将来，我们究竟还有多少能量可用于构建足够数量的复杂性，且同时把熵保持在较低的水平。目前的估计并不令人鼓舞。根据国际能源机构（IEA）公布的数据，以及记者大卫·斯特拉恩（David Strahan）2008年在英国《新科学家》杂志发表的开创性论文，现已探明的能源储量可能正如表8.1所示。

表**8.1**不可再生能源可持续时间的估算

能源种类	距离枯竭的时间预期
石油（含页岩）	最多100年
煤炭	最多100年
天然气（包括甲烷气水包合物）	最多200年
铀	几十年

估计铀只能持续“几十年”基于如下假设，即一旦其他燃料储备开始枯竭，铀的消费量将大幅增加。但在2011年福岛核泄漏事件之后，上述假设可能就不成立了，因为此次核污染的影响至今还不是很清楚，但肯定是相当大的。另外，钍（thorium）作为核燃料，也可提供大约一个世纪的核能源。埋藏在极寒海底地层深处的甲烷气水包合物（methane clathrates，也称“可燃冰”）可能储备非常大，差不多相当于其他所有化石燃料加起来的总和。但要提取却可能存在一些问题，因为甲烷是一种非常强大的温室气体；而要利用这种能源，可能也很难确保大量甲烷气体不会流入大气层，以致加剧全球变暖。

当然，所有这些数字都还只是粗略的估算，结果在很大程度上取决于关键变量，如人口增长、全世界范围内资源使用的情况及意外的发现。然而，即使上述估量值再往上翻一番，我们仍有理由对此表示严重关切。显然，正如许多人现在已经意识到的，人类对化石燃料的依赖不会持续太久。事实上，很可能最后一盘游戏已经开始了。如果科学家们能够建造出可行的核聚变反应堆或找到其他类似的能源，这当然会大大缓解我们未来的能源需求。但现在，这一前景并不乐观。有鉴于此，人类已别无选择，只能回到以可再生能源为基础的生活方式。换言之，以

生物分子储存太阳能的方式馈赠给人类的巨额能源补贴将很快崩溃，这将导致社会与技术复杂性的深刻变化，虽然目前还难以预测。[9]

因为有了临时性的化石太阳能补贴，于是就引发了工业革命，许多技术被开发出来，也使得收获可再生能源变得更轻松一些，借此助力，我们就可以返回到由太阳能直接驱动的生活方式，再辅以（少部分）地热能、潮汐能，后者是太阳——地球——月球三足体系中的引力造就的。

约瑟夫·坦特等认为，所有可再生能源都不如化石燃料更集中，这就意味着人类将不得不付出更多的努力来收获可再生能源。与化石燃料相比，目前通过可再生能源生产各种新型复杂实体的成本通常不超过其收益，至少在短期内是这样。因此，只要化石燃料还能负担得起，我们就很难实现向可再生能源的过渡，因为目前的经济体制更看重是否有竞争力。

目前，我们有三种主要的可供利用的可再生能源，即太阳能、地热能和潮汐能，不过后两者的产量要少得多。因为抵达地球的太阳能要比地热能高许多倍，所以太阳能（其中包括风能和水能，因为二者均是太阳能作用的结果）显然是我们最主要的选项。当然，地热能和潮汐能在有条件的地区可能也是非常有用的能源。

鉴于这种情况，比较明智的选择自然是不同能源组合的战略。首先，要尽量争取在当地或本区域内获得能源，而且最好尽可能地接近能源使用地。这样就可以最大限度地减少运输损失和费用，从而最大限度地利用可用能源。但这可能还不够。众所周知，可再生能源的波动性很大，因为它依赖于可变的资源，如太阳辐射、风和水。此外，在许多地方，尤其是城市，其能源使用量往往是当地能源收获量的许多倍。因此，要想保护城市的复杂性，往往要借助来自其他地方的能源加以补充。

与石油和煤炭储量相比，太阳能的特点是它不是很集中。因此，目前获取太阳能的投资回报率大大低于化石燃料。所以，目前比较明智的选择是在能量梯阶最大的地方开发太阳能，即阳光充足，很少或没有植被，换言之，就是沙漠地区。2007年，发表在《新科学家》杂志上的一篇文章指出，只要在得克萨斯州或新墨西哥州大约1万平方公里的地面上装配适当的光伏电池（photovoltaic cells），就可以解决整个美国的电力需求；而若能在撒哈拉沙漠30万平方公里的地面装配太阳能电池，就足以解决全世界的能源需求，据估计目前这个总需求量为15太瓦（terawatt）。如果上述这些数字准确无误，那我们确实有可能通过捕

捉太阳能来保持人类社会的复杂性，特别是因为地球上还有其他很多地方都可以捕捉太阳能并将其转换成电能。[10]

在过去的几年里，虽有跌宕起伏，但的确可见世人朝这一方向迈出了脚步，从梵蒂冈屋顶安装的太阳能电池板到电动汽车充电站的出现，皆是这一认知的驱动。在日本和德国，都有大型公司雄心勃勃地在计划着如何把撒哈拉沙漠变成巨大的太阳能发电厂，虽然出于政治原因目前还很难实现。当下，人们热衷讨论的跨国社会问题是，究竟由谁来控制在世界上最大的沙漠中发电和输电，而这在很大程度上阻碍了该项目的实施。此外，阿拉伯的石油产出国也正在考虑如何充分利用该地自然优势的一部分：充足的阳光。诸如此类的项目只要在某个民族国家的辖区内，就相对更容易执行。与此同时，制造太阳能电池板的成本大幅下降，而发电用的大型风车越来越多地点缀着各地的自然景观，尤其是在德国。所有这些都预示着下一次能源大变革的开始：人类正朝向利用可再生能源迈进。

上述大变革果欲成真，就产生了一系列可以预见到的实际问题。首先，太阳能发电厂及所有必要的基础设施都必须加速建设，而且是以尽可能低的成本投入，这是要趁着我们还有部分化石能源可用，等到必须依赖可再生能源再去建设要昂贵得多。此外，这些巨大的太阳能收集公园必须要加以维护。比如，沙漠中常出现沙尘暴，而建设电厂就必须清除沙尘。好在这些地方往往人口稀少，而且土地的主人通常是穷人。对这些地方经济价值的重新评估可能使这些人一下子变成新的太阳能暴发户（solar sheiks）；与石油财富有所不同的是，前者只是暂时的，而太阳能却是更可持续的财富。我们不知道这些得天独厚的主人们会向沙漠太阳能电厂的投资人索要多高的价格，也不知道他们拿着从中赚取的源源不断的资金会做些什么。其他社会愿意支付这样的价钱吗？或者，会不会因此导致新的战争，甚至造成新式的殖民地呢？

除了社会问题以外，还有许多技术问题亟待解决。太阳能发电受入射辐射的影响会发生变化，而各地对能源的社会需求也会有所不同，这两个变化的体系自然要借助某种能量缓冲体系加以协调平衡。当然，协调平衡可能有多种形式，比如从水中置换出氧和氢，然后置入燃料电池再生成水，同时释放出能量。另一种选择是建造人工湖，把多余的能量用来抽水以提升水位，这样在需要的时候就可以通过水轮机再次释放出能量。目前所有使用化石燃料的发动机和机器都必须转换成使用电能。换言之，我们必须设计、生产出许多新的人工复杂实体。所以说，工程师这一行业的前景颇为看好。

储存在海洋中的能量也提供了一些有趣的选项。其中不仅包括潮汐能，还有——甚至可能更重要的——热带与亚热带水温势差能，即通过这里表层海水与深层海水温度上的差异获取太阳能。这种方法可能会提供“无限的能量”（limitless energy）。虽然这听起来有点过于乐观，但已有大企业正在慎重研究具体的操作过程，一旦成功，就不失为一个好的选项。而且这种获取可再生能源的选项有一个好处，即其波动相对不大。[11]

面对化石能源可能出现的稀缺，航空业遇到的问题最大，因为飞机的金凤花条件是必需轻质燃料油，能量要大，又不能太难处理。喷气燃料非常适合，但氢或电就不行。目前，正有人计划利用温暖的海洋蓝藻制造喷气燃料，比如夏威夷附近的海洋蓝藻，但鉴于喷气燃料的用量很大，我们似乎有理由认为：燃料的短缺可能会导致飞机航班的急剧减少。

总的来说，需要的能源越昂贵、消耗量愈多，就意味着制造或维持这种形式复杂实体的作为不可避免地会减少，首先是食品及其他消费品工业的生产，还有多种形式的运输，尤其是飞机、汽车、火车和轮船。如果这一判断不谬的话，那么富裕国家的人们将不得不削减自己的物质需求，旅行的路线也不得不缩短。较不富裕的国家也是一样。鉴于目前全球电子网络还不是那么昂贵，因此其缩减的幅度可能会小一些。[12]

关键资源的枯竭与熵增

除了朝可再生能源体系转变并稳定全球人口之外，人类可能很快还会面临其他许多众所周知的问题，这些问题可归结为一点，即关键资源的枯竭与熵增。其中包括：用以生产和维持太阳能电池板等的稀缺资源枯竭；淡水供应不足；水土流失及农业生产所必需的磷酸盐可能出现枯竭等。

虽然水土流失和淡水资源日益减少被公认为是严重问题，但对磷酸盐储备可能出现枯竭却并不以为然。然而，后者的问题可能更为严重，因为目前已知的磷酸盐供应最多只能维持100年。虽然不少国家都有一定量的磷酸盐储量，但摩洛哥与西撒哈拉就占到世界已知磷酸盐储量的一半左右。这些沉积物被发现使得现代农业达到了前所未有的生产水平。因为磷是维持脱氧核糖核酸与核糖核酸主链必不可少的化学元素，而且在几乎所有涉及能量转移的生化反应中都起着关键的不可替代的作用。目前，无机磷酸盐被大量当作肥料使用后，其中的大部分以极稀薄的形式流入大海，而到了海水中就再难收集以再次使用。我们深知这种工业化农业的生产模式迟早会崩溃，随之而来的是这一极其重要的获取太阳能方式黯然衰落；假如我们想避免这一崩溃的厄运，那么就必须找到新的方法以确保把磷酸盐的流失降到最低。[13]

目前，大量使用化石燃料导致大气及海洋中温室气体的增加，这会进而导致温室效应的增强、气候变化和海平面上升。虽然诸如加拿大和俄罗斯联邦等国实际上会从较温暖的气候中获益——因为气候温暖会使当地农业产量提高，但其他地区，特别是濒临海洋、时刻遭洪水威胁的低洼地区，却会因之受害。目前，有许多人生活在这种低洼地区，一旦海平面大幅上升，他们就不得不迁往内陆。这一状况也会导致能够提供相关解决方案的业界出现增长，比如堤防建设、冷却设备等。海洋中二氧化碳的增加如果不加控制，就会使海水变得更具酸性，从而导致大规模、难以预测的生态变化。

众所周知，我们正面临由人的行为导致的生物多样性大规模丧失的威胁，这一事件通常被称为寒武纪以来的第六次生物大灭绝。只要人类将继续从有限的行星表面索取更多的能量和资源，这种趋势还将继续下去，对后来人造成极大危害。此外，在商业农业的运作中，我们越来越

依赖数量有限的少数动植物，而这些动植物很容易被新的害虫消灭掉，从而给人类社会造成巨大危害甚至破坏。就像传统农民所做的那样，使作物多样化应是更明智的选择，这样做虽可能产量较低，但能更有效地防御灾害的发生。如果我们好好研究传统农业的做法，可能会从中学到很多东西。

除了上述众多问题之外，我们还面临熵增的问题，这主要是由于我们在地表倾倒各种物质废料引起的。除了地表垃圾不断增加，所谓熵增还包括散布在陆地上、海洋中、大气层中，甚至在地球轨道上的各种各样的垃圾，以及大量的化学物质，这些化学物质究竟会产生什么样的后果，现在还不得而知，但可能对人类、动物和植物健康都有危害。此外还包括大气中二氧化碳浓度的升高，而这正是人类引发气候变化的根由。

根据热力学第二定律，通过回收减少物质熵会引入一种新的复杂性，所以不可避免地会产生更多的熵。这是人类无法逃脱的一个根本性难题。因为地球上收容物质熵的空间有限，而宇宙中的熵垃圾桶几乎是无限的，所以，如果我们想有效解决这一问题，就应该制定如下黄金法则（Golden Rule）：确保在生产人为复杂实体——包括建立回收回收体系——之时，把物质熵的生产最小化，而把红色光子的生产最大化，因为后者可辐射到宇宙中。有关这一主题最现实的例证就是尽可能地步行或骑自行车，而不使用机动交通工具。

上述所有问题都是相互关联的，因为问题都源于人类为自身生产大量复杂实体的作为，而这往往是以牺牲其他生物物种的物质和能量为代价的。虽然从短期看貌似成绩斐然，但却没有想到其长期后果是破坏了多种人工复杂实体的可持续生产。面对所有这些问题，现有的能源至关重要。能否充分利用好现有的也是唯一的能源，将决定人类是否能够造就足够的人工复杂实体，以创造出人类在地球上持续生存的金凤花条件。

我们很想知道通往可再生能源体系的道路会是什么样子。假如人类还想在这个星球上生存下去，这一转变必然要发生；人类可能会因此经历一个相当痛苦的瓶颈期，这一点有许多观察家都已经指出过了。虽然转变的细节很难预测，但有一点是肯定的：同过去一样，凡预期中人类获取和使用能量的方式发生深刻变化，无论是出于建设性还是出于破坏性的目的，都将导致人类食物金字塔及一般生物食物金字塔在形式和格局上发生同样深刻的变化。

我们和自己的子孙后代有责任做出决定：人类究竟要长久地在小康

（reasonable prosperity）中生存下去，还是在肆无忌惮中自我毁灭？埃里克·蔡森曾提出，我们人类可能只是宇宙演化过程中的一段插曲，其间有多个技术社会在倏忽间兴起而后湮灭，而只有极少数非常成功的社会能够存留更长一段时间。成功度过这一可以预见的瓶颈期将需要前所未有的全球合作，只有足够多的人都意识到问题的严重性和必要性，而后感到有责任和义务使这一过渡尽可能地平稳实现，我们才能真正做到这一点。

1991年，于贝尔·雷弗在《欢乐时光：宇宙演化、秩序与复杂性》一书中曾有如下的断言："人类智能重写了本能行为的放任，而且使自然系统的制衡从此失效，虽然后者曾护卫多种生物存在了数百万年"（第158页）。雷弗的意思是说，人类神经系统的发展导致了当前人类在地球上占据主导地位，但现在却可能因为未能充分体会地球本身的限制和机遇而危及自己的生存。为防止这种情况的发生，人类必须学会利用全球大脑（global brain）以实现全球合作。无疑，竞争还会以多种形式继续存在，但仅靠竞争不足以解决即将出现的问题，原因很简单：人类共享着一个资源有限的星球。

人类会迁徙到其他行星吗？

笔者的观点与颇为乐观的预测者不同，我觉得大多数人，如果不是全部人类的话，还将继续在地球上求得生存，因为人类似乎还不大可能到太阳系之外进行长距离的太空旅行。首先，距离太远了。相比早期探险家的历险，出征太空的人不可能在路途中找到可以补充自我的给养。即便是离我们最近的恒星，比如比邻星（Proxima Centauri），离我们差不多也有4光年之遥。假如——其实是颇为大言不惭的假设——我们无畏的太空旅行者以1%的光速（这已经是目前人类所能达到的极限速度的数千倍）持续地飞行，要到达比邻星及其伴星（比邻星是一对双星）将需要400年以上的时间。可如果这对双星不具备人类生存的金凤花条件又该如何呢？再假定我们的太空旅行者仍有足够的资源，并允许他们做出决定，他们又该飞向何方呢？

除了上述为抵达目的地所需的能量，太空旅行者还必须具备维持自身复杂性及养育后代所必需的物质、能量和适宜的金凤花条件，这样的投入足以令人望而却步，更何况我们勇敢的宇航员会发现一路上很少或根本没有补充给养的资源。而一旦宇宙旅行者离开内太阳系，他们将不再有能源来驱动自身的复杂性，因为离太阳越远，光线也越弱，根本不足以提供足够的能量。然而，太空旅行者还需要食物、衣物和医疗保健，还要有垃圾处理体系（包括处理死去的太空旅行者）。为最大限度地减轻重量，人们自然会特别重视废物的回收利用，但这样做又将耗费更多能源。因此，这样一艘太空船看起来应该更像一个小型地球，但区别在于：它既没有太阳能又缺少地热能来驱动。

此外，根据美国宇航局约翰逊航天中心弗朗西斯·西诺塔（Francis Cucinotta）2009年的说法，宇宙辐射对人体会造成伤害，因此，哪怕是在离我们最近的太空邻里间穿行也是非常危险的。这包括较长的登月任务，以及最短的火星之旅，后者往返大约需要18个月的时间。“目前，”西诺塔说，“我们还没有任何能确保宇航员安全的登陆火星的设计方案。”“在飞船四周都装上辐射屏蔽的话就太重了，根本发射不起来，所以必须找到更轻、质量更高的辐射屏蔽材料。我们可能还须考虑采用医疗手段，以对抗宇宙射线对细胞的损伤。”[14]如果宇航员做如此短途且离地球家园甚近的太空旅行都会受到宇宙辐射的伤害，我们可想而知

做长途太空旅行该有多么困难，如果不是完全不可能的话，哪怕是上述的其他要求都可以满足。总而言之，在我个人看来，即使我们这一物种中有个别成员愿意承担上述风险，但毕竟这一举动耗资太大了，所以我们大多数人以及我们的后代子孙必然还会留在我们的地球家园。换言之，目前人类还不具备长距离太空旅行的金凤花条件。

结束语

人类未来最根本的问题，在我和许多人看来都是一样，就是地球上的居民是否能够遵循理性、和谐相处、团结协作，以共同实现可持续发展的未来目标，还是任凭穷富之间的巨大分裂以及社会内部、社会之间权力分配不均的状况继续下去，直到上述目标被私心杂念和众说纷纭彻底粉碎。在可再生能源体系中，可用资源要比当今富裕社会的资源更为有限，所以我们面对的主要问题是：是否所有的人都情愿过上一种合理有节制的生活。此外，人类肯定会在所有可能的地面寻求能量和粮食生产，只是到那时，我们是否还有供野生物种繁衍生息的空间呢？

在这样的背景下，我们有必要回顾一下前面第五章提到过的一个观念，即人类可能在遗传基因上就有这么一种倾向，即总要求得比自身生存繁衍所需稍多一点儿的物质和能量。果然如此的话，那人类会不会有总是试图跨越地球生存金凤花条件边界的基因本能呢？如果是这样，那我们是否有能力用文化来驯服这种生物本能呢？究竟什么样的社会环境会支撑理性、节制、和谐、可持续发展的行为呢？此外，我们还不清楚可持续发展究竟意味着什么，因为所谓可持续存在取决于人们究竟想要保留些什么。目前，人们对此并未达成共识，所以对于子孙后代究竟想保留些什么，我们就更不清楚了。然而，如果人类要安逸舒适地在地球上生存下去，我们及我们的子孙后代就不得不直面这一最根本性的问题。

在生物学上，非随机消除只在一代人身上发生作用。只要某一物种成功繁衍，该物种就可以说未被非随机消除。时至今日，对生活在地球上的大多数人而言，成功繁衍基本已得到保障，虽然其子女面前的境遇千差万别。现在的问题是，我们必须为一代人以上的未来境遇做好充分准备，而且这种准备工作已变得异常紧迫。生活在当今时代的人都习惯了短期思维、收获短期回报，无论是在经济上还是在政治上均如是。那么，我们是否能在这样的情况下在足够大的人群中播撒长时段的文化愿景呢？换言之，我们能够借助文化来驯服我们的生物本能和社会制度安排吗？

本书提出的理论框架有一个非常直接的目标，即有助于实现自然科学与社会科学的融合，从而使人们看清人类在大自然中的地位，并形成

一种统一的认识和观点。1959年，查尔斯·珀西·斯诺（Charles Percy Snow，1905—1980）在剑桥大学著名的瑞德演讲中曾提醒世人，他们所处的时代已经出现了所谓“两种文化”，即科学与人文的分离。同年，他还出版了一本名为《两种文化与科学变革》（*The Two Cultures and the Scientific Revdutio*）的著作，更详尽地阐述自己的观点。在该书的第16页，斯诺这样写道：

> 有好几次我出席聚会，前来聚会的人——按照传统文化标准——都是受过非常良好的教育的，他们常津津有味地谈论起自然科学家，说后者难以置信地无知。有那么一两次，我实在被激怒了，就当面诘问他们：你们当中有谁能说说热力学第二定律是怎么回事儿？对方的反应很冷淡，说不知道。不过，我也曾问过科学家类似的问题：你曾读过莎士比亚的作品吗？

从前文我们已经看到，热力学第二定律对本书的理论方法可谓至关重要。笔者认为，这一定律同样适用于人类史和自然史，而本书尝试以此为线索和基垫弥合上述两种文化间的鸿沟。

无论如何，希望本书业已澄清如下论点，即能在一定的金凤花条件下流过物质是多层次各种复杂实体兴衰成败的基本原理，这一思路不但简单明了地概括了整个大历史观，还有助于澄清人类在不远的将来必须面对的重大问题。

参考文献

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York, The Free Press.

Allen, Timothy F. H., Tainter, Joseph A. & Hoekstra, Thomas W. 2003. Supply-Side Sustainability. New York, Columbia University Press.

Broda, E. 1975. The Evolution of Bioenergetic Processes. Oxford & New York, Pergamon Press. Broda, E. 1978. The Evolution of Bioenergetic Processes (revised reprint). Oxford & New.York, Pergamon Press.

Brown, Cynthia Stokes. 2007. Big History: From the Big Bang to the Present. New York, The New Press.

Chaisson, Eric J. 1987. The Life Era: Cosmic Selection and Conscious Evolution. New York, Atlantic Monthly Press.

Christian, David. 2004. Maps of Time: An Introduction to Big History. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

Cloud, Preston. 1978. Cosmos, Earth and Man: A Short History of the Universe. New Haven & London, Yale University Press. Cook, Earl. 1971. 'The flow of energy in an industrial society.' Scientific American 225, 3, September (134–47).

Cook, Earl. 1976. Man, Energy, Society. San Francisco, W. H. Freeman & Co.

Cortright, Edgar M. (ed.). 1975. Apollo Expeditions to the Moon. Washington, DC, NASA SP-350. Daviss, Bennett. 2007. 'Our solar future.' New Scientist issue 2633, 8 December (32–7).

Debeir, Jean-Claude, Deléage, Jean-Paul & Hémery, Daniel. 1991. In the Servitude of Power: Energy and Civilization through the Ages. London & Atlantic Highlands, N.J., Zed Books (1986).

EcoSanRes. 2008. Closing the Loop on Phosphorus. Stockholm Environment Institute. www.ecosanres.org/pdf_files/ESR-factsheet-04.pdf.

Fox, Ronald F. 1988. Energy and the Evolution of Life. New York, W. H. Freeman & Co.

Gore, Al. 2013. The Future: Six Drivers of Global Change. New York, Random House.

Hubbert, M. King. 1956. Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Houston, Tex., Shell Development Company, Publication No. 95.

Hubbert, M. King. 1971. 'The energy resources of the Earth.' Scientific American 225, 3, September (60–84).

Kurzweil, Ray. 2005. The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology. New York, The Viking Press.

Malthus, Thomas Robert. 1798. An Essay on the Principle of Population, as it affects the future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers. London, J. Johnson (originally published anonymously).

MacKay, David J. C. 2008. Sustainable Energy – without the Hot Air. Cambridge, UIT Cambridge. www.withouthotair.com.

McKenna, Phil. 2008. ‘Plumbing the oceans could bring limitless clean energy.’ New Scientist issue 2683, 19 November (28–9).

Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, J.rgen & Behrens III, William W.1972. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome Project on the Predicament of Mankind. New York, Potomac Associates (authorized reprint from Universe Books).

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Odum, Howard T. 1971. Environment, Power and Society. New York, John Wiley & Sons,.Inc.

Raup, David M. 1993. Extinction: Bad Genes or Bad Luck? Oxford & New York, Oxford University Press.

Reeves, Hubert. 1986. L’heure de s’enivrer: L’univers a-t-il un sens? Paris, éditions du.Seuil.

Reeves, Hubert. 1991. The Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity. New York, W. H. Freeman & Co.

Schumacher, E. F. 1989. Small Is Beautiful: Economics as if People Mattered. New York, Harper Perennial (1973).

Scientific American. 1971. ‘Special issue: Energy and power.’ Scientific American 225, 3, September.

Smil, Vaclav. 1991. General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization. New.York, John Wiley & Sons, Inc.

Smil, Vaclav. 1994. Energy in World History. Boulder, Co., Westview Press.

Smil, Vaclav. 1999. Energies: An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization. Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2002. The Earth’s Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change. Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2003. Energy at the Crossroads: Global Perspectives and

Uncertainties.Cambridge, Mass., MIT Press.

Smil, Vaclav. 2006. Energy: A Beginner’s Guide. Oxford, One World Publications.

Snow, Charles Percy. 1959. The Two Cultures and the Scientific Revolution. Cambridge, Cambridge University Press Turner, Graham M. 2008. ‘A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality.’ Global Environmental Change 18, 3 (397–411).

Zapata, F. & Roy, R. N. 2004. Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture (Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 13). Rome: FAO Land and Water Development Division and the International Atomic Energy Agency. www.fao.org/docrep/007/ y5053e/y5053e00.htm#Contents.

Zalasiewicz, Jan. 2008. The Earth After Us: What Legacy Will Humans Leave in the Rocks? Oxford, Oxford University Press.

推荐阅读书目

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York, The Free Press.

Allen, Timothy F. H., Tainter, Joseph A. & Hoekstra, Thomas W. 2003. Supply-Side Sustainability. New York, Columbia University Press.

Gore, Al. 2013. The Future: Six Drivers of Global Change. New York, Random House. Kurzweil, Ray. 2005. The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology.

New.York, The Viking Press.

Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, J.rgen & Behrens III, William W. 1972. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome Project on the Predicament of Mankind. New York, Potomac Associates (authorized reprint from Universe Books).

Niele, Frank. 2005. Energy: Engine of Evolution. Amsterdam, Elsevier/Shell Global Solutions.

Smil, Vaclav. 2003. Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties. Cambridge, Mass., MIT Press.

Snow, Charles Percy. 1959. The Two Cultures and the Scientific Revolution. Cambridge, Cambridge University Press.

[1] 比较Raup (1993)。

[2] Broda (1975 & 1978); Cook (1971 & 1976); Debeir, Deléage & Hémery (1991); Fox (1988); and Odum (1971)。同时参阅Scientific American Special Issue:‘Energy and power.’(1971)。近年来有关能源研究比较重要的著作包括MacKay (2008); Niele (2005); and Smil (1991, 1994, 1999, 2002, 2003 & 2006)。

[3] Hubbert (1971), p. 61. 1956年，M. 金·休伯特在一篇（现已成为经典的）会议论文中，曾预测美国石油产量的峰值将出现在1965年至1970年（1956），见第24页。所谓“石油峰值”（Peak oil）是指石油产量所得达到的最高值，此后由于石油资源渐趋枯竭必然出现产量下滑。美国石油产量的峰值事实上出现在1971年。在同一篇文章中，休伯特还预测世界石油峰值（不含焦油砂油）约出现在2000年前后，见Hubbert（1956），第22页。2007年，一来自石油产业的可靠人士告知笔者，他所在的公司认为，（易开采石油的）世界石油峰值发生在2004年。

[4] Odum (1971), p. 18.

[5] 有关布伦特兰报告，可参阅World Commission on Environment and Development (1987)。

[6] Cortright (1975).

[7] Turner (2008).

[8] 参阅Allen, Tainter & Hoekstra (2003)。笔者在一篇未发表的论文（1984）中曾借助热力学原理分析正在出现的各种生态问题，原文是用荷兰文写成的，题为“Een natuurkundige beschouwing van ekologische problemen”（《从物理学看生态问题》）。

[9] 有许多人都强调，我们有必要回到以可再生能源为基础的生活方式。有关未来能源的精彩著述包括Smil (2003) and Niele (2005)。

[10] Daviss (2007).

[11] McKenna (2008).

[12] 因受环境制约，人类必须节制自己的生活欲望，英国经济学家E.F.舒马赫（E. F. Schumacher，1989）在《小的是美好的：一本把人当回事儿的经济学著作》（Small Is Beatiful: Economics as if People Mattered）一书中对这一观点有精彩论述，不过这本书经常遭人诟病。

[13] 有关磷酸盐储量情况，比如可参阅Zapata & Roy (2004) and EcoSanRes (2008)。

[14] 见http://science.nasa.gov/headlines/y2009/27may phantomtorso.htm。该信息于2009年5月查询所得。

译后记

对笔者而言，翻译此书是一段“巅峰”经历（peak experience）：2017年暑假，前后历时两个多月，笔者全身心地投入翻译，竟然在假期完成了这部336页的专著的翻译！或曰：用两个月的时间穿越了从宇宙“大爆炸”到无限未来的“大历史”之旅！其间，笔者与原作者弗雷德·斯皮尔教授（虽然他的正式头衔是Senior Lecturer in Big History，却是我心目中极为敬重的学识渊博、志向高远的“教授”，况且这一头衔几乎是全球各高校中绝无仅有的）数度交流，更正了原著中不少印刷或拼写错误，更就其中的重大问题多次讨论。这是学术翻译的理想状态：作者与译者反复交流，凡不清楚、不理解的问题均可敞开心扉、轻松交谈，直至充分可靠地表达作者想要中文读者理解的大历史全貌与细节。

因“大历史”横跨自然科学和社会科学及人文雅艺（美国已故史学家威廉·麦克尼尔称大历史将“自然史与人类史综合成了一篇宏伟壮丽而又通俗易懂的叙述”），笔者特邀请清华大学特聘教授、中国科学院自然科学史研究所前所长刘钝先生及中国社会科学院世界历史研究所张旭鹏研究员从前后两个角度对全书进行了详细的审阅，并指正了其中的不妥之处。笔者何等的感激！

早在2011年，笔者便已结识斯皮尔教授（有关简介，可参阅孙岳：《大历史与小大历史》，《世界历史评论》2017年第2卷第2期，2017年12月第一版，第122—125页），此后一直不断联系交往，2014年更有幸亲赴阿姆斯特丹大学聆听斯皮尔教授讲授大历史课，还在他家里住宿六个晚上，为教授及其子路易（Louis）做中国“馅饼”。其实，斯皮尔教授的住所非常简朴（装饰简单，房间不大，而且是租的），可令我感奋的是，就是在这样的简朴之中，斯皮尔教授却在一直在思考着在宇宙演化大框架下人类生存、人类道德及人类发展的大问题。斯皮尔教授勇于创新、维务根本、思路清晰、表达准确。这恐怕是一位知识分子所能企及的最高境界吧。至于斯皮尔教授的大历史思想，笔者拟另行撰文，此处不赘。

愿读者在大历史的徜徉中对斯皮尔这部专著有更多清晰的领悟。诚如书名中明确指出的，此书关乎“人类的未来”。

孙岳

2018年5月23日于北京

图书在版编目（CIP）数据

大历史与人类的未来：修订版 / （荷）弗雷德·斯皮尔著 ; 孙岳译. -- 北京 : 中信出版社，2019.7
书名原文: Big History and the Future of Humanity（Second Edition）
ISBN 978-7-5086-9913-4
Ⅰ . ①大… Ⅱ . ①弗… ②孙… Ⅲ . ①世界史－研究 Ⅳ . ① K107
中国版本图书馆CIP数据核字(2019) 第006057号

Big History and the Future of Humanity by Fred Spier,
ISBN: 978-1-118-88172-9

大历史与人类的未来（修订版）
著者：［荷］弗雷德·斯皮尔
译者：孙岳
出版发行：中信出版集团股份有限公司
（北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编100029）

字数：380千字
版次：2019年7月第1版
京权图字：01-2018-2605
广告经营许可证：京朝工商广字第8087号
书号：ISBN 978-7-5086-9913-4

Table of Contents